



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA PAVIMENTOS
(APLICACIÓN CALLE NOGALES PARROQUIA NAYÒN L= 1.0 KM)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
OPCIÓN: CAMINOS**

AUTOR: ROSERO ALVARADO FRANCISCO DAVID

TUTOR: ING. ANÍBAL ÁVILA

QUITO-ECUADOR

2013

DEDICATORIA

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y guiar mi camino con fe, por fortalecer mi corazón en momentos difíciles sin permitir que deje mis metas sin cumplir e iluminar mi mente.

Mi madre María del Carmen Alvarado, por darme la vida, y apoyarme en mi vida estudiantil. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, muchas gracias por tu esfuerzo esto te lo debo a ti.

Mi padre Rodrigo Rosero, por darme ejemplo con su vida de honradez y trabajo.

A mi hermanos que han sido mis compañeros de mi vida; hemos vivido las penas y alegrías.

A novia Viviana por apoyarme en momentos difíciles, brindarme su compañía incondicional y amor.

A todas las personas que he encontrado en mi vida que has sabido confiar en mí y me han alentado a cumplir mis metas.

AGRADECIMIENTO

Al culminar la presente tesis quiero agradecer primeramente a Dios por darme la vida.

A mi querida Universidad Central del Ecuador, de manera especial a la Facultad de Ingeniería Ciencias, Físicas y Matemáticas, donde he tenido la distinción de ser estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil, al cuerpo docente que comparte sus conocimientos con la esperanza de formar profesionales que contribuyan al desarrollo de nuestro país.

Al Ing. Aníbal Ávila, tutor de tesis, que supo colaborar con el desarrollo de la tesis de manera desinteresada.

A los Ingenieros Rodrigo Herrera y Fabián Durango por su colaboración formando parte de la revisión y calificación del presente trabajo.

Al Ing. Víctor Molina por las facilidades para la utilización de las instalaciones del laboratorio de suelos del EPMMOP-Q, por permitirme conocer de manera práctica las actividades y procesos realizados en el laboratorio.

Al Señor Marcelo Pacheco por su participación y colaboración con su gran experiencia, en la ejecución de ensayos realizados en el laboratorio.

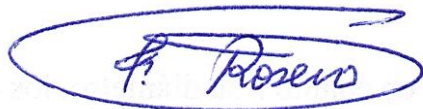
Al personal del laboratorio de suelos de la EPMMOP-Q, que supieron colaborar con su experiencia en el desarrollo de esta investigación.

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Yo FRANCISCO DAVID ROSERO ALVARADO en calidad del autor del trabajo de investigación o tesis realizada sobre "BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA PAVIMENTOS (APLICACIÓN CALLE NOGALES PARROQUIA NAYÓN L= 1.0 KM)" por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, 21 de Enero del 2013



C.C. 1717057259

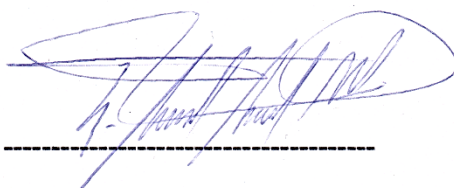
Francisco David Rosero Alvarado

CERTIFICACIÓN

En calidad de Revisor del Proyecto de investigación: BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA PAVIMENTOS (APLICACIÓN CALLE NOGALES, PARROQUIA NAYÓN L = 1.0 KM), presentado y desarrollado por el señor FRANCISCO DAVID ROSERO ALVARADO, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, considero que el proyecto reúne los requisitos necesarios.

En la ciudad de Quito, a los 21 días del mes de Enero del 2013.

Atentamente:



Ing. Aníbal Ávila Montero

TUTOR

INFORME DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACION

TEMA: BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFALTICA PARA PAVIMENTOS (APLICACIÓN CALLE NOGALES, PARROQUIA NAYÓN L= 1.0 KM).

ANTECEDENTES

Director de la Carrera de Ingeniería Civil, mediante el oficio No. FI-DCIC-2012-386, de la fecha 06 de Junio del 2012, por disposición del Decano de la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas, se autoriza la denuncia de tesis presentada por el señor FRANCISCO DAVID ROSERO ALVARADO, a la vez que se designa como TUTOR al Señor Ing. ANÍBAL ÁVILA MONTERO.

DESARROLLO DE LA TESIS

Se procedió a la recopilación de información teórica para la realización de este tipo de estabilización, basada en la sustentación teórica se procedió a la parte investigativa realizada en laboratorio, donde se realizó ensayos con los materiales para determinar sus características; luego se aplicó el Método Marshall Modificado para mezclas en frío para la determinación de porcentaje óptimo de estabilización. Se escogió el material más adecuado y se aplicó al Diseño de la Calle Nogales.

Se realizó las siguientes actividades para el desarrollo de tesis.

- Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de agregados provenientes de la Mina Corazón (Pomasqui) y Rosita (Mitad del Mundo) bajo las especificaciones establecidas por el MOP para el uso de estos materiales como Bases para Pavimentos.
- Se tomó como referencia para el procedimiento descrito en el Manual Básico de Emulsiones publicado por el Instituto del Asfalto (MS19).
- Se realizó la selección del tipo adecuado de emulsión asfáltica, Determinación del contenido tentativo de emulsión, Ensayos sobre agregados, Ensayo de Recubrimiento y Adhesión, Determinación de la cantidad de Agua que se debe agregar, Fabricación de Briquetas con diferentes porcentajes de Emulsión Asfáltica aplicando el Método Marshall Modificado para este tipo de estabilizaciones, Ensayo de Briquetas para determinación de propiedades de estabilidad seca y saturada, densidad Bulk y Flujo.
- Análisis de los resultados de los Ensayos para la determinación del porcentaje óptimo de emulsión así como el porcentaje de agua que se debe agregar.
- Se seleccionó el material más conveniente para estabilizar, con este material se aplicó al Diseño de la Calle Nogales.
- Finalmente se realiza un Presupuesto General para el Diseño de la Repavimentación que presenta este tipo de estabilización como una alternativa ventajosa.

El desarrollo de todas estas actividades de la tesis estuvo bajo la supervisión del ingeniero Aníbal Ávila Montero en su calidad de Tutor.

CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo principal que era demostrar que se puede estabilizar este tipo de materiales granulares deficientes con emulsión asfáltica. Se observa claramente una ganancia en el coeficiente estructural que aportan al pavimento las bases estabilizadas, se supero fácilmente el criterio mínimo de diseño.
- Los porcentajes de estabilización óptimos que cumplen con el diseño mínimo propuesto son los siguientes:
 - Para la base estabilizada con emulsión CSS – 1 h y los agregados de la Mina Corazón, el porcentaje mínimo de emulsión es de 6.2% y Agua 7.8%.
 - Para la base estabilizada con emulsión CSS – 1 h y los agregados de la Mina Rosita, el porcentaje mínimo de emulsión es de 5.3% y Agua 6.5%.
- Demostrados los beneficios de la estabilización de los materiales granulares de la Mina Rosita, con emulsión asfáltica, como los más convenientes por costo, se tomó como estabilidad aceptable de diseño 1800 libras minuto; de igual manera, se garantiza la influencia de la humedad. Para tales motivos se utiliza para el diseño un 6.9 % de emulsión y el 6% de agua.

En virtud a lo manifestado anteriormente, las actividades desarrolladas han sido satisfactorias y los resultados obtenidos en el transcurso del desarrollo del mismo son los esperados, emito mi aprobación a este trabajo de tesis y recomiendo proseguir el tramite respectivo hasta la graduación del ejecutor.

Atentamente:



Ing. Aníbal Ávila Montero

TUTOR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
SECRETARÍA

RESULTADO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

CARRERA DE Ingeniería Civil

Quito, 27 de Febrero

Señor ROSEDO ALVARADO FRANCISCO

Tema: BASES ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA
PARA PAVIMENTOS (APLICACION E. HOGALES, PARRAS,
NAYÓN L = 1.0 KM)

CALIFICACIÓN:

TRIBUNAL	PROFESOR (A)	NOTA SOBRE VEINTE		FIRMA
		NUMERO	LETRAS	
PROFESOR TITULAR	ING. FABIAN DURANGO	20	VEINTE	17 Julio 2011
PROFESOR TITULAR	ING. RODRIGO HERRERA	18	Diez y OCHO	11 y 11 may
PROMEDIO		19	Diecinueve	En todo

Dra. Katheryne Carrión Valdivieso
SECRETARIA ABOGADA (E)

CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
1 GENERALIDADES Y CONCEPTOS	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	4
1.5 ALCANCE.....	5
1.6 MARCO REFERENCIAL	6
1.7 CONCEPTO Y CLASES DE PAVIMENTOS	6
CAPITULO II	9
2 BASES PARA PAVIMENTOS	9
2.1 ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS: CAPAS DE MATERIALES.....	9
2.1.1 SUB-RASANTE	9
2.1.2 SUB-BASE.....	9
2.1.3 BASE.....	10
2.1.4 BASE GRANULAR	10
2.1.5 BASE ESTABILIZADA.....	10
2.1.6 SUPERFICIE DE RODADURA	11
2.1.7 CAPAS ASFÁLTICAS	12
2.2 AGREGADOS	14
2.2.1 TIPOS DE AGREGADOS EMPLEADOS	14
2.2.2 ENSAYO DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS	17
2.2.3 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	22
2.2.4 DETERMINACION DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS (NORMA AASHTO T-27).....	23
2.2.5 ENSAYO DE ABRASION PARA LOS AGREGADOS (NORMA AASHTO T 96)	

2.2.6	LIMPIEZA	39
2.2.7	ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA (NORMA AASHTO T 176)	40
2.2.8	ENSAYO DE COLORIMETRÍA (NORMA ASTM C 40)	47
2.2.9	ENSAYO DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS.....	51
2.3	BASES GRANULARES.....	56
2.3.1	BASES CON MATERIALES CLASIFICADOS	56
2.3.2	BASES CON MATERIALES TRITURADOS	57
2.3.3	MEZCLA DE AGREGADOS.....	58
2.3.4	DETERMINACION DEL LÍMITE LÍQUIDO Y EL LÍMITE PLÁSTICO	62
2.3.5	ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO (NORMA AASHTO D 180)	70
2.3.6	ENSAYO VALOR DE SOPORTE MODIFICADO CBR (ASTM D 1883).....	76
2.3.7	BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	88
CAPÍTULO III		90
3	EMULSIONES ASFÁLTICAS Y USO EN BASES	90
3.1	CONCEPTO Y ESTRUCTURA QUÍMICA	90
3.1.1	CONCEPTO.....	90
3.1.2	ESTRUCTURA QUÍMICA	91
3.2	COMPOSICIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	93
3.2.1	CEMENTO ASFÁLTICO.....	93
3.2.2	SOLUCIÓN JABONOSA.....	96
3.3	VARIABLES QUE AFECTAN LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA	98
3.4	CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE LAS EMULSIONES	99
3.4.1	PRODUCCIÓN DE LA EMULSIÓN.....	99
3.5	ROTURA Y CURADO DE UNA EMULSIÓN	102
3.5.1	ROTURA:	102
3.5.2	CURADO	103
3.5.3	FACTORES QUE AFECTAN LA ROTURA Y EL CURADO.....	103
3.5.4	PROPIEDADES BÁSICAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	104

3.5.5	CONTROL DEL CALIDAD	107
3.6	USOS Y APLICACIONES DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	115
3.6.1	USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS SIN AGREGADOS.	115
3.6.2	USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS CON AGREGADOS.	116
3.6.3	SELECCIÓN DEL TIPO Y GRADO DE EMULSIÓN A UTILIZAR	120
3.7	TIPOS DE MEZCLAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS	122
3.7.1	USOS PRINCIPALES DE MEZCLAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	122
3.8	DISEÑO DE MEZCLAS ESTABILIZADAS	123
3.8.1	CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA EN FRÍO...	124
3.8.2	PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS EN FRÍO	125
3.9	MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS	130
3.9.1	AGREGADOS	132
3.9.2	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TENTATIVO DE EMULSIÓN	135
3.9.3	ENSAYO DE RECUBRIMIENTO Y ADHESIÓN	139
3.9.4	ENSAYO DE LOS ESPECÍMENES COMPACTADOS	142
3.9.5	PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO).	142
3.10	ENSAYO DE ESTABILIDAD.....	143
CAPÍTULO IV		148
4	PRUEBAS DE LABORATORIO, CONTROL DE CALIDAD Y ACEPTACIÓN DE LOS MATERIALES	148
4.1	ENSAYOS SOBRE LOS AGREGADOS	151
4.1.1	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASSHTO T-27)	151
4.1.2	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS	152
4.2	DISEÑO MARSHALL MODIFICADO PARA MEZCLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	164
4.2.1	OBJETIVO.....	164
4.2.2	COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS	164
4.2.3	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TENTATIVO DE EMULSIÓN	164
4.2.4	ENSAYO DE RECUBRIMIENTO.....	166

4.2.5	ENSAYO DE ADHERENCIA	171
4.2.6	FABRICACIÓN DE BRIQUETAS	173
4.2.7	ENSAYO DE LAS BRIQUETAS	179
4.2.8	RESULTADOS OBTENIDOS	191
4.3	CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO	200
CAPÍTULO V		202
5	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	202
5.1	RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS	202
5.1.1	RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS CON LOS AGREGADOS	202
5.1.2	RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS CON LAS BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	205
5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y GRÁFICOS	207
5.2.1	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	208
5.2.2	PROPIEDADES REQUERIDAS POR EL MOP PARA ACEPTACIÓN DE MATERIALES GRANULARES	208
5.2.3	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS CON LAS BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	209
5.3	CUADROS Y TABLAS DE VALORES	211
5.3.1	COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS DE LAS PROPIEDADES DE MEZCLAS COMPACTADAS CON EQUIPO MARSHALL	211
5.3.2	COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS DE FLUJO	211
5.3.3	COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS DE PROPIEDAD VOLUMÉTRICA	212
5.4	TOLERANCIA Y ACEPTACIÓN DE RESULTADOS	213
CAPÍTULO VI		215
6	APLICACIÓN EN LA REPAVIMENTACIÓN DE LA CALLE NOGALES, PARROQUIA NAYÓN	215
6.1	UBICACIÓN DEL PROYECTO	215
6.2	ENSAYO DEL SUELO NATURAL	217
6.3	DISEÑO DEL PAVIMENTO	217
6.4	RUBROS Y CANTIDADES DE OBRA	234

6.5	PRECIOS UNITARIOS	238
6.6	PRESUPUESTO GENERAL DEL DISEÑO	251
6.7	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS (MOP-001-F-2002)	252
6.7.1	EXCAVACIÓN PARA LA PLATAFORMA DEL CAMINO.....	252
6.7.2	TRANSPORTE	252
6.7.3	BASE DE HORMIGÓN ASFÁLTICO MEZCLADO EN SITIO.....	253
6.7.4	ASFALTO PARA RIEGO DE ADHERENCIA.....	254
6.7.5	HORMIGÓN ASFÁLTICO MEZCLADO EN SITIO.	256
CAPÍTULO VII		260
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	260
7.1	CONCLUSIONES	260
7.1.1	CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	260
7.1.2	CONCLUSIONES DE LA APLICACIÓN.....	261
7.2	RECOMENDACIONES	262

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 2-1 Tamizado de Agregados</i>	<i>25</i>
<i>Fotografía 2-2 Lavado Tamizado vía Húmeda.....</i>	<i>25</i>
<i>Fotografía 2-3 Serie de Tamices.....</i>	<i>26</i>
<i>Fotografía 2-4 Cuarteo Manual.....</i>	<i>27</i>
<i>Fotografía 2-5 Tamizado de Agregados Finos</i>	<i>28</i>
<i>Fotografía 2-6 Material después del Ensayo en la Máquina de los Ángeles.....</i>	<i>35</i>
<i>Fotografía 2-7 Medición de Alturas en Ensayo de Equivalente de Arena.....</i>	<i>44</i>
<i>Fotografía 2-8 Copa de Casagrande y Acanalador.....</i>	<i>66</i>
<i>Fotografía 2-9 Determinación del Limite Plástico</i>	<i>66</i>
<i>Fotografía 2-10 Compactación en Molde Metálico.....</i>	<i>73</i>
<i>Fotografía 2-11 Muestra compactada en Ensayo CBR con deformímetro</i>	<i>78</i>
<i>Fotografía 4-1 Cribadora de Material (Mina Corazón).....</i>	<i>150</i>
<i>Fotografía 4-2 Cribadora y Trituradora (Mina Rosita)</i>	<i>150</i>
<i>Fotografía 4-3 Lavado de Agregado Grueso para ensayo de Peso Específico y Absorción</i>	<i>152</i>
<i>Fotografía 4-4 Peso Sumergido de Agregado Grueso para ensayo de Peso Específico y Absorción</i>	<i>153</i>
<i>Fotografía 4-5 Compactación de los Agregados en el Cono con el Apisonador.....</i>	<i>155</i>
<i>Fotografía 4-6 Llenado de Picnómetro con agregado Fino</i>	<i>156</i>
<i>Fotografía 4-7 Pesaje de Agregados para Ensayo de Recubrimiento.</i>	<i>167</i>
<i>Fotografía 4-8 Determinación del Recubrimiento</i>	<i>168</i>
<i>Fotografía 4-9 Ensayo de Adherencia. (Ebullición de la Mezcla).....</i>	<i>172</i>
<i>Fotografía 4-10 Procedimiento del Ensayo de Adherencia. (Secado).....</i>	<i>172</i>
<i>Fotografía 4-11 Equipos Utilizados en la Compactación de Briquetas por el Método Marshall .</i>	<i>173</i>
<i>Fotografía 4-12 Equipos Utilizados en la extracción de Briquetas por el Método Marshall.....</i>	<i>174</i>
<i>Fotografía 4-13 Colocación de la Emulsión sobre los Agregados</i>	<i>176</i>
<i>Fotografía 4-14 Mezcla de Agregados con Emulsión después de Pérdida de Humedad y Rotura de Emulsión.....</i>	<i>176</i>
<i>Fotografía 4-15 Fabricación de una briqueta, llenado del molde para compactar con el Martillo</i>	<i>177</i>
<i>Fotografía 4-16 Muestras Compactadas en los Moldes para Briquetas con los Agregados de la Minas Rosita.....</i>	<i>178</i>
<i>Fotografía 4-17 Curado de Muestras en Moldes para Briquetas en Horno.....</i>	<i>178</i>
<i>Fotografía 4-18 Equipo para Desmolde de Briquetas y Muestras Desmoldadas.....</i>	<i>179</i>
<i>Fotografía 4-19 Equipo utilizado para la determinación de Propiedades Volumétricas.....</i>	<i>180</i>
<i>Fotografía 4-20 Señalización de Marcas para Medición de Dimensiones.....</i>	<i>181</i>

<i>Fotografía 4-21 Mordaza de rotura.....</i>	<i>185</i>
<i>Fotografía 4-22 Prensa Marshall y Anillo.....</i>	<i>185</i>
<i>Fotografía 4-23 Colocación de la Briqueta en la Mordaza.....</i>	<i>186</i>
<i>Fotografía 4-24 Equipo con Briqueta para aplicación de Carga.....</i>	<i>187</i>
<i>Fotografía 6-1 Ubicación de la Calle Nayón, L= 1Km (WWW.GOOGLE.COM, 2012).....</i>	<i>215</i>

LISTADO DE FIGURAS

<i>Figura 1-1 Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2-1 Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2-2 Ejemplos de la Norma ASTM C: 40.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 2-3 Criterio para Caras Fracturadas</i>	<i>52</i>
<i>Figura 2-4 Curva de Compactación Densidad Seca = f (Humedad) Próctor</i>	<i>71</i>
<i>Figura 2-5 Ejemplos de curvas obtenidas en el ensayo de CBR.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 2-6 Ejemplos de Curvas CBR resistencia vs Penetración; y CBR vs densidad</i>	<i>81</i>
<i>Figura 3-1 Diagrama Esquemático de una Emulsión (INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE)</i>	<i>90</i>
<i>Figura 3-2 Tipos de asfaltos derivados de la destilación de crudo (BRACHO, 2005).....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 3-3 Representación de una Emulsión Aniónica y Catiónica. (INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE)</i>	<i>98</i>
<i>Figura 3-4 Proceso general de la fabricación de emulsiones asfálticas. (INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE).....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 3-5 Microfotografía que demuestra los tamaños y distribución de las partículas de Asfalto (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001)</i>	<i>101</i>
<i>Figura 3-6 Gráfica Superficie Específica Vs % Cemento Asfáltico, M. Duriez.</i>	<i>137</i>
<i>Figura 3-7 Curvas típicas Obtenidas con mezclas de emulsión asfáltica y agregados (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001)</i>	<i>147</i>
<i>Figura 4-1 Ubicación de las Minas Corazón y Rosita (WWW.GOOGLE.COM, 2012)</i>	<i>149</i>
<i>Figura 4-2 Densidad Bulk v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Mina Corazón.....</i>	<i>192</i>
<i>Figura 4-3 Densidad Bulk v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Mina Rosita</i>	<i>193</i>
<i>Figura 4-4 Estabilidad seca y saturada v/s Contenido de Emulsión Mina Corazón.....</i>	<i>194</i>
<i>Figura 4-5 Estabilidad seca y saturada v/s Contenido de Emulsión Mina Rosita.....</i>	<i>195</i>
<i>Figura 4-6 Flujo v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Mina Corazón.....</i>	<i>196</i>
<i>Figura 4-7 Flujo v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Mina Rosita</i>	<i>197</i>
<i>Figura 4-8 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad (Mina Corazón)</i>	<i>198</i>
<i>Figura 4-9 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad (Mina Rosita).....</i>	<i>199</i>
<i>Figura 5-1 Comparación de Los Porcentajes Óptimos Mínimos de Emulsión Asfáltica</i>	<i>211</i>
<i>Figura 5-2 Comparación de Los Valores Obtenidos de Flujo.....</i>	<i>212</i>
<i>Figura 5-3 Comparación de Los Valores Obtenidos de Densidad Bulk.....</i>	<i>212</i>
<i>Figura 6-1 Uso del Nomograma de Diseño AASHTO93 Para Pavimentos Flexibles para determinar el Número Estructural aplicado al Diseño (AASHTO, 1993)</i>	<i>225</i>
<i>Figura 6-2 Uso del Programa Cálculo del Número Estructural AASHTO 1993.</i>	<i>226</i>

<i>Figura 6-3 Uso del Nomograma de Diseño AASHTO 93 para Pavimentos Flexibles para determinar el Coeficiente Estructural de la Capa de Rodadura en función del Módulo Elástico aplicado al Diseño</i>	<i>228</i>
<i>Figura 6-4 Uso del Nomograma de Diseño AASHTO 93 para Pavimentos Flexibles para determinar el Coeficiente Estructural de la Capa de Rodadura correlaciona Estabilidad Marshall (AASHTO, 1993)</i>	<i>229</i>
<i>Figura 6-5 Uso del Nomograma de Diseño AASHTO 93 para Pavimentos Flexibles para determinar el Coeficiente Estructural de la Capa de Base tratada con Asfalto aplicado al Diseño (AASHTO, 1993)</i>	<i>230</i>
<i>Figura 6-6 Uso del Nomograma de Diseño AASHTO 93 para Pavimentos Flexibles para determinar el Coeficiente Estructural de la Capa de Sub base (AASHTO, 1993).....</i>	<i>231</i>
<i>Figura 6-7 Esquema de los Espesores de un Pavimento Flexible con representación de capas, número estructural y espesores (HARRIS, 2007).....</i>	<i>232</i>
<i>Figura 6-8 Esquema de los Espesores de un Pavimento Flexible, Capas, Número estructural y Espesores Calculados</i>	<i>234</i>
<i>Figura 6-9 Sección Típica para el cálculo de Cantidades.....</i>	<i>237</i>
<i>Figura 6-10 Planilla General empleada para el Análisis de Precios Unitarios de un Rubro.....</i>	<i>239</i>

LISTADO DE TABLAS

<i>Tabla 2-1 Clasificación de Sub bases</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2-2 Clasificación de carreteras por su tipo de Superficie</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2-3 Clasificación según el origen de las rocas</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2-4 Procedencia de los Agregados utilizados.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2-5 Masa Unitaria de Varias Rocas</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 2-6 Peso de agregado y Número de Esferas para agregados gruesos hasta de 1 ½”</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 2-7 Granulometrías para bases.</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 2-8 Penetración utilizada en el ensayo de CBR.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 2-9 Granulometría Bases Estabilizadas con Emulsión Asfáltica</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 3-1 Clasificación de las emulsiones asfálticas.</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 3-2 Cuadro comparativo entre los componentes del asfalto</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 3-3 Análisis microscópico de tamaños de promedio de partículas de una emulsión</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 3-4 Especificaciones para emulsiones asfálticas catiónicas (ASTM D 2397-02).....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 3-5 Especificaciones para emulsiones asfálticas aniónicas; Rompimiento Rápido y Medio (ASTM D-977-98).....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 3-6 Especificaciones para emulsiones asfálticas Aniónicas; Rompimientos Medio, Lento y Acelerado (ASTM D-977-98)</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 3-7 Principales usos de las emulsiones asfálticas</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 3-8 Usos Generales de las Emulsiones Asfálticas</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 3-9 Usos Principales de Mezclas con Emulsiones Asfálticas</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 3-10 Causas y Efectos de Inestabilidad.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 3-11 Causas y Efectos de una Poca Durabilidad</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 3-12 Causas y Efectos de La Permeabilidad</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 3-13 Causas y Efectos de Problemas en la Trabajabilidad.....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 3-14 Causas y Efectos de una Mala Resistencia a La Fatiga.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 3-15 Causas y Efectos de Poca Resistencia al Deslizamiento.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 3-16 Agregados para Mezclas con Emulsión de Granulometría Cerrada</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 3-17 Factores de corrección de Estabilidad Marshall</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 3-18 Criterios de Diseño para Bases Estabilizadas con Emulsión Asfáltica</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 3-19 Requerimientos para mezcla asfáltica con granulometría densa y emulsión asfáltica.....</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 4-1 Certificado Emulsión CSS-1h.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 4-2 Cantidades para Ensayo de Recubrimiento con Agregados de la Mina Corazón</i>	<i>169</i>
<i>Tabla 4-3 Cantidades para Ensayo de Recubrimiento con Agregados de la Mina Rosita.....</i>	<i>170</i>
<i>Tabla 4-4 Cantidades para Fabricación de Briquetas para los Agregados de La Mina Corazón</i>	<i>174</i>
<i>Tabla 4-5 Cantidades para Fabricación de Briquetas para los Agregados de la Mina Rosita.....</i>	<i>175</i>

<i>Tabla 4-6 Resultados de la Densidad Bulk con Agregados de la Mina Corazón</i>	182
<i>Tabla 4-7 Resultados de la Densidad Bulk con Agregados de la Mina Rosita</i>	183
<i>Tabla 4-8 Factor de Corrección de Estabilidad</i>	188
<i>Tabla 4-9 Resultados de la Estabilidad y Flujo con Agregados de la Mina Corazón</i>	189
<i>Tabla 4-10 Resultados de la Estabilidad y Flujo con Agregados de la Mina Rosita</i>	190
<i>Tabla 4-11 Densidad Bulk (Mina Corazón)</i>	191
<i>Tabla 4-12 Densidad Bulk (Mina Rosita)</i>	192
<i>Tabla 4-13 Estabilidad Seca y Saturada (Mina Corazón)</i>	193
<i>Tabla 4-14 Estabilidad Seca y Saturada (Mina Rosita)</i>	194
<i>Tabla 4-15 Flujo (Mina Corazón)</i>	196
<i>Tabla 4-16 Flujo (Mina Rosita)</i>	197
<i>Tabla 4-17 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad Mina Corazón</i>	198
<i>Tabla 4-18 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad Mina Rosita</i>	199
<i>Tabla 4-19 Propiedades de la Base Estabilizada para el Porcentaje Mínimo de Emulsión (Mina Corazón)</i>	200
<i>Tabla 4-20 Propiedades de la Base Estabilizada para el Porcentaje Mínimo de Emulsión (Mina Rosita)</i>	201
<i>Tabla 5-1 Granulometría de la Mezcla de Agregados (Ripio y Arena) de la Mina Corazón</i>	203
<i>Tabla 5-2 Granulometría de la Mezcla de Agregados (Ripio y Arena) de la Mina Rosita</i>	203
<i>Tabla 5-3 Resumen de Propiedades Ensayadas para Agregados de Mina Corazón</i>	204
<i>Tabla 5-4 Resumen de Propiedades Ensayadas para Agregados de Mina Rosita</i>	205
<i>Tabla 5-5 Peso Específico y Absorción (Mina Corazón)</i>	206
<i>Tabla 5-6 Peso Específico y Absorción (Mina Rosita)</i>	206
<i>Tabla 5-7 Ensayos de Recubrimiento y Adherencia a la Base con Emulsión Asfáltica (Mina Corazón)</i>	207
<i>Tabla 5-8 Ensayos de Recubrimiento y Adherencia a la Base con Emulsión Asfáltica (Mina Rosita)</i>	207
<i>Tabla 5-9 Propiedades de las Base Estabilizadas para el Porcentaje Mínimo de Emulsión</i>	207
<i>Tabla 5-10 Comparación de Los Porcentajes Óptimos Mínimos de Emulsión Asfáltica</i>	211
<i>Tabla 5-11 Comparación de Los Valores Obtenidos de Flujo</i>	211
<i>Tabla 5-12 Comparación de Los Valores Obtenidos de Densidad Bulk</i>	212
<i>Tabla 5-13 Propiedades de La Base Estabilizada Agregados Mina Rosita para Diseño</i>	214
<i>Tabla 6-1 Croquis Ubicación de la Calle Nogales L= 1 Km</i>	216
<i>Tabla 6-2 Factor de Distribución por Carril</i>	218
<i>Tabla 6-3 Niveles de Confiabilidad</i>	221
<i>Tabla 6-4 Desviación normal estándar (Zr) y Confiabilidad (R %)</i>	222
<i>Tabla 6-5 Resumen de los Datos para el cálculo de número estructural</i>	224

<i>Tabla 6-6 Coeficiente de Drenaje</i>	<i>232</i>
<i>Tabla 6-7 Espesores mínimos para Diseño de Pavimentos Flexibles.....</i>	<i>232</i>
<i>Tabla 6-8 Espesores Constructivos del Diseño de Pavimento Flexible.....</i>	<i>234</i>
<i>Tabla 6-9 Componentes del Precio.....</i>	<i>235</i>
<i>Tabla 6-10 Datos para el cálculo de cantidades</i>	<i>237</i>
<i>Tabla 6-11 Rubros y Cantidades para la Pavimentación de la Calle Nogales L= 1Km</i>	<i>238</i>
<i>Tabla 6-12 Presupuesto de la Repavimentación de la Calle Nogales L=1Km.....</i>	<i>251</i>

RESUMEN

BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA PAVIMENTOS (APLICACIÓN: CALLE NOGALES, PARROQUIA NAYÓN, L= 1.0 KM)”

La presente tesis busca demostrar las ventajas de utilizar emulsión asfáltica para estabilizar materiales granulares deficientes, como los provenientes de las Minas de Pomasqui y la Mitad del Mundo, para su uso en la capa de base en pavimentos.

Para esto, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, y luego se conformó una mezcla de agregados que cumpla con los requerimientos expuestos en normas técnicas.

La determinación de la cantidad de emulsión asfáltica a emplear fue realizada mediante el Método Marshall Modificado para mezclas en frío.

Con base a los resultados de estabilización obtenidos, se procedió a realizar el diseño de la aplicación en la calle Nogales, parroquia de Nayón, en una longitud de un kilómetro, habiendo demostrado que el uso de esta técnica es una alternativa factible que presenta un beneficio aceptable, a un bajo costo.

DESCRIPTORES:

BASE ESTABILIZADA / EMULSIÓN ASFÁLTICA / MÉTODO MARSHALL MODIFICADO
PARA MEZCLAS EN FRÍO / RESULTADO DEL MÉTODO MARSHALL DE ESTABILIDAD /
RESULTADO DEL MÉTODO MARSHALL DE FLUJO / RESULTADO DEL MÉTODO
MARSHALL BULK / ÓPTIMO DE ASFALTO / COEFICIENTE ESTRUCTURAL / DISEÑO DE
PAVIMENTO FLEXIBLE ASSHTO 93 / LIBRO BASE MS 19 / AGREGADOS DE POMASQUI
/ AGREGADOS DE LA MITAD DEL MUNDO

SUMMARY

EMULSIFIED ASPHALT STABILIZED BASES FOR PAVEMENTS (APPLICATION: NOGALES STREET, NAYON PARISH, L = 1.0 KM)”

This thesis aims to demonstrate the benefits of using asphalt emulsion to stabilize weak granular materials, such as those from the Pomasqui and the Equator Mines, for using in the base layer in pavements.

For this, we determined the physical and mechanical properties of aggregates, and then aggregates formed from a mixture which meets the requirements set forth in technical standards.

In order to determine the quantity to employ asphalt emulsion was performed by Modified Marshall Method for cold mixes.

Based on stabilization results obtained, we proceeded with the application design in the Nogales street, Nayon parish, on a length of one kilometer, having shown that the use of this technique is a feasible alternative that provides an acceptable benefit, at a low cost.

DESCRIPTORS:

STABILIZED BASE / ASPHALT EMULSION / MODIFIED MARSHALL METHOD FOR
COLD MIXES / MARSHALL METHOD RESULT OF STABILITY / MARSHALL METHOD
RESULT OF FLOW / BULK MARSHALL METHOD RESULT / OPTIMUM ASPHALT /
STRUCTURAL COEFFICIENT / ASSHTO 93 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN / MS 19
BASE BOOK / AGGREGATES OF POMASQUI / AGGREGATES OF THE EQUATOR

CAPÍTULO I

1 GENERALIDADES Y CONCEPTOS

1.1 ANTECEDENTES

La carencia de materiales adecuados para construcción de pavimentos ha motivado la investigación de técnicas que consigan la estabilización o mejoramiento de materiales, mediante la manipulación o el tratamiento de materiales específicos.

El objetivo que se busca es tener mejores cualidades de estos materiales que nos garanticen resistencias suficientes para no sufrir deformaciones o desgastes inadmisibles por efectos de tránsito o agentes atmosféricos.

Al respecto de la estabilización de suelos para pavimentos, el doctor M. Duriez de Francia opina: “Es la consolidación de una capa de pavimento o del material de terracería, tanto desde el punto de vista de la resistencia a la deformación por carga, como de la insensibilidad a la acción del agua. Esto se logra mediante la selección adecuada de los materiales por su estructura, la compactación mecánica o el empleo de algún cementante. El suelo así tratado puede servir para sub-base o base; rara vez como capa de rodadura.”

Los agregados pétreos para cada capa de terracería, sub-bases y bases de un pavimento, para ser admitidos como materiales en cada caso, deberán cumplir con las especificaciones establecidas previamente para ellos; sin importar que sea material mejorado o no.

Existen muchas formas de estabilización de los materiales utilizados en la construcción de pavimentos, de forma general tenemos las siguientes:

- La estabilización física, como por ejemplo: la mezcla de suelos y refuerzos sintéticos.
- La estabilización química, se consigue con la adición de sustancias o compuestos principales como cal, cemento Portland, enzimas, emulsiones asfálticas y polímeros.
- La estabilización mecánica, es obtenida por la compactación.

El material más utilizado en la construcción vial es el cemento asfáltico, es uno de los materiales más antiguos empleados por la humanidad, su uso se inicia alrededor del año 4000 A.C., en la zona de Mesopotamia como material aglomerante en las actividades de la construcción de caminos, albañilería e impermeabilización de estanques y depósitos de agua.

En Egipto se aprovecharon los asfaltos como aglomerantes y para embalsamientos.

Más tarde, en Francia, desde 1802, se emplean por primera vez rocas asfálticas para la construcción de carreteras, pavimentos de puentes y aceras.

El primer pavimento asfáltico se construye en Newark, New Jersey, USA., el año de 1870.

El asfalto es un cementante aglomerante de bajo costo que presenta una serie de características de gran valor para la construcción, como son: elasticidad, ductilidad, adhesividad, insolubilidad en agua y resistencia a la intemperie.

En cambio, el desarrollo de las emulsiones comienza a principios del siglo XX en diferentes lugares y con usos muy diversos. A partir de 1905, se aplicó por primera vez una emulsión asfáltica en la construcción de carreteras, para la ciudad de Nueva York. Pero su empleo generalizado en trabajos viales comienza en la década de los años 20.

Las primeras aplicaciones fueron como: riego (spray applications) y paliativos de polvo (dust palliatives). El avance de las emulsiones asfálticas fue lento por el imitante del tipo de emulsiones disponibles y por la carencia de conocimientos para su aprovechamiento.

Entre las décadas de los años 30 y mediados de los 40, creció lentamente el volumen de emulsiones utilizadas. Después de la Segunda Guerra Mundial, aumentaron la cantidad y las cargas de tránsito, al punto que se redujo el uso de emulsiones asfálticas en obras viales. Hubo un mayor consumo de mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico, como cementante.

La aplicación del cemento asfáltico ha crecido mucho desde 1953, mientras el empleo de otros productos asfálticos en conjunto no ha tenido mayor crecimiento. Últimamente, la utilización de emulsiones asfálticas se ha elevado.

El desarrollo ininterrumpido de nuevos tipos y grados de emulsiones asfálticas, sumado a equipos de construcción y prácticas mejoradas, ofrecen ahora una amplia gama de elección. Virtualmente, cualquier necesidad vial puede ser abordada con emulsiones. La selección y el uso juicioso de estos materiales pueden resultar en sustanciales beneficios económicos y ambientales.

Muchos factores han incentivado el uso emulsiones asfálticas, como son:

- La crisis energética de los años 70. El embargo petrolero del Medio Oriente trajo como consecuencia el tomar medidas para la conservación de la energía. La naturaleza de las emulsiones asfálticas facilita su utilización sin la necesidad de solventes de petróleo para que sean líquidas y, en su mayoría, pueden ser aprovechadas sin necesidad de calentamiento previo. Estos factores contribuyen al ahorro de energía.
- Reducción de la polución atmosférica. Las emulsiones asfálticas eliminan hacia la atmosfera poco o nada de sustancias hidrocarbonadas.
- Algunos tipos de emulsiones permiten el recubrimiento de la superficie de agregados húmedos, reduciendo la necesidad de combustible para su calentamiento y secado.

- Gran variedad de tipos de emulsiones. Han contribuido al desarrollo de nuevas fórmulas y técnicas de laboratorio mejoradas, para cumplir exigencias de diseño y construcción.
- La aplicación de materiales en frío, en lugares alejados.
- El empleo de emulsiones asfálticas para mantenimiento preventivo de pavimentos, aumentando la vida útil de los pavimentos existentes, ligeramente deteriorados.

La Conservación Ambiental da una gran importancia al uso de emulsiones asfálticas, en especial por dos factores, como: la conservación de la energía y la polución atmosférica. Las emulsiones asfálticas pueden ser fácilmente usadas como remplazo de los asfaltos diluidos.

Actualmente, los países con mayor producción de emulsiones asfálticas son, en orden de importancia: Estados Unidos, Francia, España y Japón. Entre estos cuatro países se fabrica un 40% aproximadamente de la producción mundial de emulsión asfáltica, que se estima actualmente próxima a los dieciséis millones de toneladas, de la que más del 85% es del tipo catiónico.

La estabilización con emulsión asfáltica es compatible con la construcción por etapas, con la característica que permite la incorporación de nuevas capas por influencia de aumento de tráfico.

Uno de los usos de las emulsiones asfálticas es el mejoramiento de bases granulares, que no cumplen características técnicas para su utilización en pavimentos, y mediante la adición de estas emulsiones se puede garantizar por igual calidad y desempeño equivalente al de una base granular de buena calidad.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El material granular de muchas minas cercanas a Quito como las ubicadas en las zonas de Pomasqui y La Mitad del Mundo, no cumple con la calidad técnica requerida para su uso en pavimentos, no se puede utilizar directamente. Esto encarece el costo de inversión en muchos proyectos.

Entre las diferentes soluciones posibles para obtener materiales que cumplan estas especificaciones tenemos el mejoramiento con aditivos, con cemento, enzimas, asfalto y emulsión asfáltica.

Las mezclas asfálticas en frío, empleando como ligante una emulsión asfáltica, tienen poca utilización, porque en la mayoría de casos se prefieren las mezclas en caliente.

Los agregados pétreos no requieren secado ni calentamiento, es decir, que se los emplea tal como se presentan en el acopio, con su humedad natural. Estas mezclas también pueden ser elaboradas en la misma planta central, destinada a la producción de mezclas en caliente, prescindiendo para

ello del sistema de calefacción, para el secado de los áridos, el calentamiento y circulación del asfalto.

La mezcla asfáltica en frío permite utilizar una gran variedad de agregados y tipos de emulsiones asfálticas, que al combinarlos son aplicables en la reparación de pavimentos deteriorados, en la capa de rodadura o para la construcción de una nueva calzada, seleccionando la que más se adapte a las características del proyecto.

Para garantizar un mejor desempeño, se propone la estabilización con emulsión asfáltica, a fin de obtener un comportamiento y rendimiento similar al de una base granular de calidad, siempre buscando el mayor beneficio, a base de un costo moderado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar las propiedades mecánicas de materiales granulares deficientes, provenientes de minas cercanas a la ciudad de Quito, mediante la estabilización con emulsión asfáltica, destinados a la utilización en bases para pavimentos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar ensayos de laboratorio que establezcan las propiedades mecánicas de los materiales granulares para bases a estabilizar.
- Comparar las propiedades de los materiales granulares a utilizar y las propuestas de uso, por normas.
- Determinar las características y el empleo de emulsiones asfálticas aplicables para la estabilización de materiales granulares en bases para pavimentos.
- Utilizar como guía el Método Marshall Modificado, en mezclas frías para la obtención del contenido de emulsión asfáltica que dé los mejores resultados en la estabilización de este tipo de materiales granulares.
- Comparar los resultados originados en el laboratorio con las tolerancias propuestas para la aceptación de bases estabilizadas con emulsión asfáltica.
- Aplicar los resultados técnicos generados como una alternativa válida en la utilización de materiales granulares.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El crecimiento urbano de la ciudad de Quito y el incremento del parque vehicular traen como consecuencia un incremento en la necesidad de construcción de vías nuevas y un mejoramiento de las actuales.

Por este motivo, es más alto el consumo de materiales óptimos para los trabajos de pavimentación vial, procurando siempre la utilización de materiales lo más cercanos a la obra.

Al estar ubicada la ciudad de Quito en una zona volcánica, esta circunstancia hace que muchas minas, ubicadas en la periferia y que proveen de materiales como las de Pomasqui y la Mitad del Mundo, entre otras, no cumplan con las propiedades necesarias para su utilización.

Como una alternativa para el uso de estos materiales, tenemos su mejoramiento mediante la estabilización con emulsión asfáltica, que signifique reducir el costo de las capas de pavimento, puesto que exigen la mayor calidad de los materiales cuando se trata de la capa de rodadura. La capa de base puede ser mejorada hasta que alcance el comportamiento técnico de una base de mejor calidad.

Al mejorar el material pétreo que se utilizará en bases con emulsión asfáltica trae como consecuencia algunas ventajas como:

- Se consigue mejorar las características mecánicas, con base a mejores coeficientes estructurales, lo cual permite mayores valores de soporte con menor espesor de capa.
- El recubrimiento generado por el asfalto sobre los agregados pétreos admite tener una capa impermeable.
- Para la utilización de materiales húmedos y trabajos a temperatura ambiente, no se requiere calentamiento para su manipulación.
- Es un producto apto desde el punto de vista ecológico, ya que lo único que libera al medio es agua
- Al utilizar este material se generan ahorros en los costos totales de acarreo de materiales.
- El medio dispersante de las emulsiones es el agua, por este motivo no es inflamable y las emanaciones de vapores de hidrocarburo hacia la atmósfera son casi nulas.
- El uso de estos materiales es una alternativa técnica que puede ser fácilmente implementada para lugares cercanos a las minas, economizando en el costo de conformación de la capa de base y mejorando en calidad de la capa de rodadura.

1.5 ALCANCE

El trabajo de investigación propone demostrar que el mejoramiento de material granular de minas cercanas a Quito, es viable para su uso como bases de pavimento, mediante la incorporación de emulsión asfáltica.

Para dicho estudio se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Análisis de las características de los materiales granulares provenientes de la Mina Corazón (Pomasqui) y Mina Rosita (Mitad del Mundo), mediante ensayos de laboratorio.
- Comparación de las características verificadas de los materiales granulares con las características propuestas por normas técnicas.
- Ajuste de la mezcla entre materiales granulares a una banda granulométrica, diseñada para estabilización con emulsión asfáltica.
- Selección de la emulsión asfáltica y el contenido teórico adecuado para la estabilización de este tipo de materiales.
- Fabricación de briquetas con la mezcla de materiales granulares y emulsión asfáltica, adoptando como guía el Método Marshall Modificado para mezclas en frío.
- Producción de briquetas con diferentes contenidos de emulsión, para determinar el contenido óptimo de estabilización de este tipo de materiales granulares.
- Análisis de los resultados obtenidos y comparación con tolerancias establecidas para este tipo de procedimientos.
- Fundamentado en los resultados generados por los ensayos, establecer una propuesta técnica de aplicación de este tipo de materiales.

1.6 MARCO REFERENCIAL

La finalidad de las construcciones viales como áreas de estacionamiento, calles, vías y pistas de aeropuertos, transitadas por vehículos, es proveer de una apropiada sub-base o fundación, proporcionar un adecuado drenaje, y colocar un pavimento que cumpla con condiciones indicadas como:

- Un espesor total suficiente que soporte una resistencia interna y garantice una resistencia a cargas de tráfico esperadas.
- La compactación de los materiales que conformen la estructura del pavimento debe prevenir la penetración y la acumulación interna de humedad.
- La superficie terminada de rodadura tendrá características de suavidad, resistencias a deslizamientos, rozamiento, distorsión y deterioro por acción del tráfico de agentes atmosféricos.

La sub-rasante soporta de manera general todas las cargas producidas por el tránsito. El pavimento tiene como función estructural soportar la carga de los ejes desde la superficie, transferir y distribuir la carga a la sub-rasante, sin superar las resistencias de la sub-rasante la interna propia del pavimento.

1.7 CONCEPTO Y CLASES DE PAVIMENTOS

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas de materiales de mejoramiento y colocadas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales adecuados y compactados.

Los Pavimentos que se usan generalmente en nuestro país se los puede clasificar de la siguiente manera:

- Pavimentos flexibles o asfálticos
- Pavimentos semi-rígidos o semi-flexibles
- Pavimentos rígidos
- Pavimentos articulados

Pavimentos Flexibles o Asfálticos

Este tipo de pavimentos está constituido por una capa de rodadura formada por material bituminoso o asfáltico, apoyado en la mayoría de los casos sobre dos capas de materiales no rígidos conocidos como base y sub-base, sin ser obligatoria la presencia de una de estas capas, justificándose la presencia de las mismas por características de los materiales que constituyen el pavimento.

Pavimentos Semi-rígidos o Semi-flexibles

Estos pavimentos tienen la misma estructura de los pavimentos asfálticos, con la diferencia que las capas que los conforman se encuentran rigidizadas de manera artificial, mediante la presencia de aditivos que en su mayoría de casos puede ser: asfalto, emulsión asfáltica, cementos, cal, enzimas y químicos.

El empleo de estos aditivos se justifica al corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales o cercanos a la obra, que no son aptos directamente para la su uso como capas, que conforman la estructura del pavimento, teniendo en cuenta que los materiales más indicados con mejor calidad pueden encontrarse a grandes distancias, que encarecerían notablemente los costos de construcción.

Pavimentos Rígidos

Son los que están constituidos principalmente por una losa de hormigón y apoyados sobre materiales seleccionados o en otros casos sobre la sub-rasante.

Debido a la alta rigidez que presenta el hormigón, así como el elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se realiza sobre una amplia zona.

El hormigón también es capaz de resistir, en cierto nivel, los esfuerzos a tensión, por esta propiedad tiene un comportamiento muy aceptable cuando existan zonas débiles en la sub-rasante.

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de las resistencias de las losas, por lo tanto la capacidad que ejercen las otras capas de pavimento tienen menor influencia en el diseño del espesor del pavimento

La figura 1.1 Indica la diferencia de comportamiento entre los pavimentos Flexibles y Rígidos en presencia de una carga.

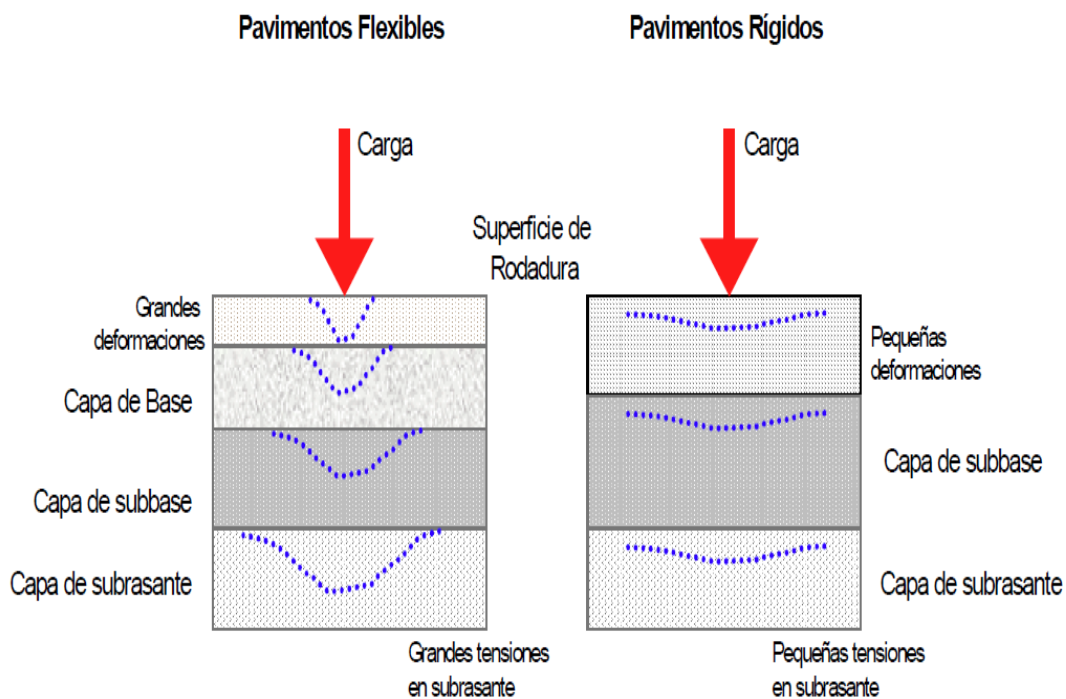


Figura 1-1 Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos

Fuente: ITURBIDE, J. (2002)

CAPITULO II

2 BASES PARA PAVIMENTOS

2.1 ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS: CAPAS DE MATERIALES

El pavimento de manera general está compuesto por una serie de capas de la siguiente manera:

- Sub-rasante
- Sub-base
- Base
- Superficie de rodadura

Las siguientes definiciones están basadas en el Manual Centro Americano para Diseño de Pavimentos (ITURBIDE, 2002).

2.1.1 SUB-RASANTE

Es la capa de terreno de una vía que resiste la estructura del pavimento, ocupa hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Esta capa puede estar creada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes detalladas en los planos finales de diseño.

El grosor de pavimento está muy relacionado con la calidad de la sub-rasante, se busca que esta capa supere los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

El diseño de un pavimento de forma básica es el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la sub-rasante.

2.1.2 SUB-BASE

Es la capa de la estructura del pavimento que tiene por funciones: soportar, transmitir y distribuir de manera uniforme las cargas aplicadas desde la superficie de rodadura del pavimento a la sub-rasante.

La Sub-base debe soportar las variaciones que pueden afectar al suelo, controla los cambios de elasticidad y volumen que pueden dañar el pavimento

Esta capa se utiliza también como capa de drenaje y para el control de ascensión capilar de agua, cuidando la estructura de pavimento, por lo que ordinariamente se usan materiales granulares. La presencia de capilaridad en esta capa produce hinchamientos por acción del congelamiento del agua en temperaturas bajas, si no se dispone de una sub-rasante y Sub-base adecuada se producirán fallas en el pavimento.

Esta capa de material actúa como material de transición entre la sub-rasante y la capa de base.

Según la tabla 2-1 se presenta los clases de subbases por su granulometría propuestos por el MOP.

TAMIZ		Porcentaje en peso que pasa a través		
		CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3"	(76.2 mm.)	--	--	100
2"	(50.4 mm.)	--	100	--
1 ½	(38,1 mm.)	100	70 - 100	--
Nº 4	(4.75 mm.)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
Nº 40	(0.425 mm.)	10 - 35	15 - 40	--
Nº 200	(0.075 mm.)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

Tabla 2-1 Clasificación de Sub bases

Fuente: MOP-001-F-2002. (2002)

2.1.3 BASE

Es la capa que conforma la estructura del pavimento ubicada entre la sub base y la capa de rodadura que tiene como funciones: la distribución y transmisión de las cargas generadas por el tránsito, a capas inferiores del pavimento como: la Sub-base y a través de ésta a la sub-rasante, y es la capa que sirve de soporte a la capa de rodadura.

Las bases especificadas son las siguientes:

- Base granular; y
- Base Estabilizada

2.1.4 BASE GRANULAR

Es la capa que conforma la estructura del pavimento ubicada entre la sub-base y la capa de rodadura, esta capa está constituida por piedra de buena calidad triturada, grava y mezclada con material de relleno, arena y suelo, en su estado natural.

Los materiales que forman esta capa deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento.

Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, todas estas propiedades dependerán de la relación entre la cantidad de finos y de agregado grueso.

2.1.5 BASE ESTABILIZADA

Es la capa que conforma la estructura del pavimento ubicada entre la sub-base y la capa de rodadura, esta capa está constituida por piedra de buena calidad triturada grava y mezclada con material de relleno, arena y suelo, esta mezcla se combina con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una base integrante del pavimento destinada

fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de Sub-base.

Los materiales estabilizadores más utilizados son: asfalto, enzimas, emulsiones asfálticas, cemento y cal.

2.1.6 SUPERFICIE DE RODADURA

Es la capa que conforma la estructura del pavimento más externa, se coloca sobre la base.

La función principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para el ingreso del agua lluvia por filtración que puede saturar las capas inferiores.

La capa de rodadura evita el deterioro de las capas inferiores a causa del tránsito de vehículos.

La capa de rodadura aumenta la capacidad soporte del pavimento, por que absorbe cargas, este aumento es apreciable para espesores mayores a 4 centímetros, en el caso de riegos superficiales se considera el aumento nulo.

La tabla 2.2 indica la clasificación de carreteras por su tipo de superficie propuesta por el MOP.

CLASE DE CARRETERA	TIPO DE SUPERFICIE
R ó RII más de 8000TPDA	Alto grado estructural, concreto asfáltico u hormigón.
I 3000 a 8000TPDA	Alto grado estructural, concreto asfáltico u hormigón.
II 1000 a 3000TPDA	Grado estructural intermedio; concreto asfáltico o triple tratamiento
III 300 a 1000 TPDA	Carpeta asfáltica: doble tratamiento superficial Bituminoso.
IV 100 a 300 TPDA	Doble tratamiento superficial Bituminoso. Capa granular o empedrado
V menos de 100 TPDA	Grava, empedrado, tierra

Tabla 2-2 Clasificación de carreteras por su tipo de Superficie

Fuente: MOP-001-F-2002. (2002)

Las superficies de rodadura de los pavimentos flexibles se dividen, según se muestra en la siguiente figura:

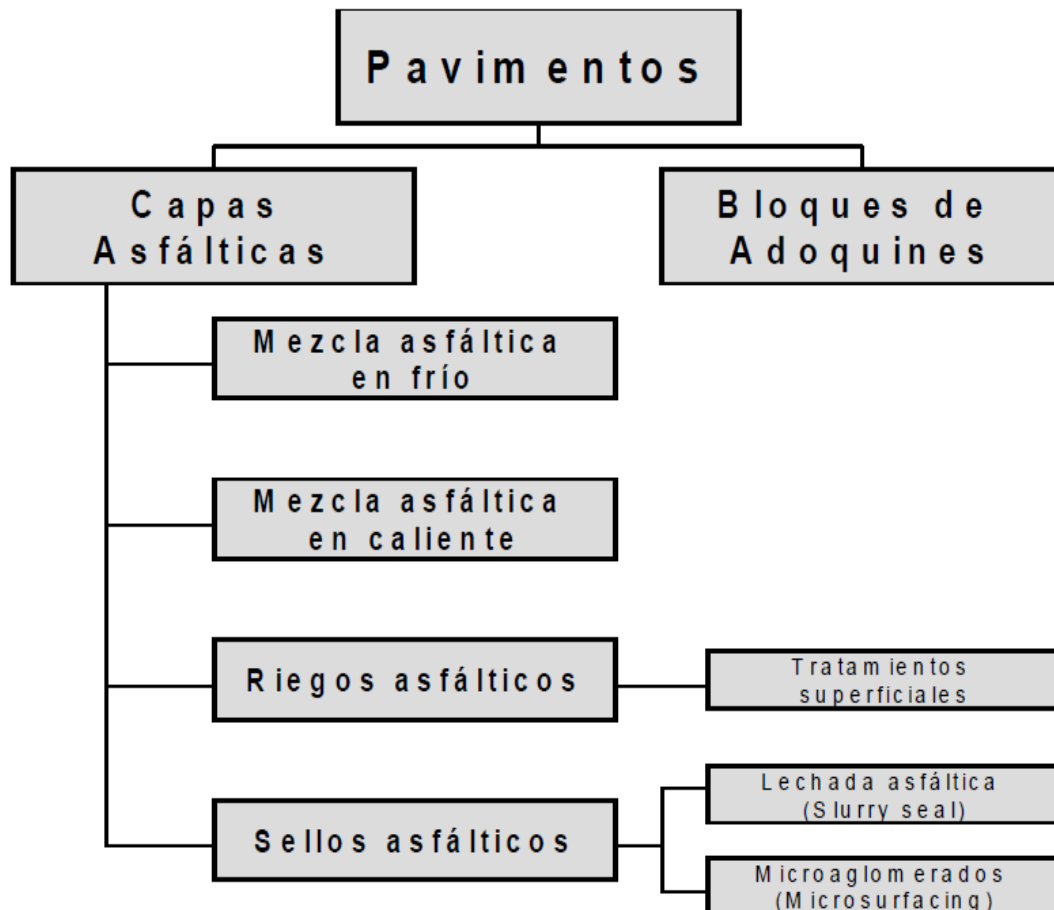


Figura 2-1 Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles

Fuente: ITURBIDE, J. (2002)

2.1.7 CAPAS ASFÁLTICAS

Hormigón asfáltico.

Se denomina a hormigón asfáltico, concreto bituminoso u hormigón bituminoso, a la mezcla de agregados de asfalto y mezcla de materiales minerales, estos últimos materiales minerales se encuentran en diferentes tamaños; esta mezcla se extiende en capas y se compacta.

Este material es el más común utilizado en la construcción de vial.

La mezcla de los materiales que componen el hormigón asfáltico puede ser hecha en caliente o en frío.

Presentan buenas propiedades impermeabilizantes por este motivo también es utilizado en los núcleos de presas como impermeabilizante

La definición de ingeniería de hormigón incluye cualquier material compuesto por un agregado cementado con un aglutinante, que puede ser cemento Portland o asfalto.

Mezcla asfáltica en frío

Se denomina mezcla asfáltica en frío a la combinación de agregados pétreos con asfaltos rebajados o aglomerantes bituminosos, un ejemplo de estos aglomerantes son las emulsiones asfálticas.

Los materiales pétreos deben cumplir con los requisitos especificados, estos materiales serán mezclados con procedimientos controlados sin la necesidad de un calentamiento previo, la finalidad de estos procedimientos es garantizar como resultado un nuevo material con características definidas.

Mezcla asfáltica en caliente

Se denomina mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos, materiales que deben cumplir con los requisitos especificados, los materiales mezclados mediante procedimientos controlados en caliente, darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

Riegos asfálticos

Son riegos sucesivos alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados, que son compactados buscándose conseguir un material compactado lográndose un mayor densidad por motivo de una mejor acomodación.

El uso de los riegos asfálticos presenta una serie de ventajas como: brindar a la superficie las condiciones de impermeabilidad, aumenta la resistencia al desgaste y mejora la suavidad para el rodaje.

Brinda a la superficie las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje.

Se clasifican en tratamientos superficiales simples, dobles y triples.

Tratamientos superficiales

Los Tratamientos Superficiales se basan en la aplicación de material asfáltico sobre una superficie preparada de base, el riego y compactación del material pétreo graduado, que sirve de cubierta y se colocará sobre el material asfáltico en diferentes capas alternándolas.

Sellos asfálticos

Consiste en impermeabilizar una superficie asfáltica ya existente mediante el revestimiento con emulsiones asfálticas y agregado fino, se consigue eso mediante el llenado de vacíos y de grietas,

El uso de sellos asfáltico evitar la desintegración de superficies asfálticas desgastadas y mejorar su resistencia contra el deslizamiento aumentando la durabilidad del pavimento. Se pueden mencionar dos tipos de sellos asfálticos: La lechada asfáltica (slurry seal) y los microaglomerados (microsurfacing).

Lechada Asfáltica (Slurry Seal)

Consiste en una mezcla de agregados pétreos, emulsión asfáltica, agua y aditivos, que proporcionan una mezcla homogénea, que se aplica sobre un pavimento, como un tratamiento de sellado con el

fin de impermeabilizarlo; proporcionando una textura resistente, antideslizante y adherida firmemente a la superficie

Microaglomerados (Microsurfacing)

El Microsurfacing consiste en una mezcla de emulsión catiónica de asfalto modificado con polímeros, agregados minerales, rellenos, agua y otros aditivos que son tendidos sobre una superficie pavimentada.

El uso de Microsurfacing presenta las siguientes ventajas:

Evita la desintegración de superficies asfálticas desgastadas y; mejora la resistencia contra el deslizamiento, aumentando su durabilidad.

BLOQUES DE CONCRETO

- **Adoquines**

Los adoquines o bloques son elementos contruidos con material pétreo y cemento, pueden tener varias formas, prefiriéndose las formas regulares.

Los adoquines son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 centímetros de espesor, la que tiene como función de absorber las irregularidades de la base.

La cama de arena proporciona a los adoquines un acomodamiento adecuado, ofrece una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie. Además sirve para drenar el agua que se filtra por las juntas, evitando que se dañe la base.

2.2 AGREGADOS

2.2.1 TIPOS DE AGREGADOS EMPLEADOS

Áridos o Agregados

Según el (MOP-001-F-2002, 2002), Es el nombre genérico para distintos conjuntos de partículas minerales, de diferentes tamaños, que proceden de la fragmentación natural o artificial de las Rocas.

Tipos de Agregados

Los agregados pueden clasificarse de acuerdo a:

a) Composición mineralógica – origen:

- Rocas Ígneas,
- Rocas Sedimentarias
- Rocas Metamórficas.

b) Fuente de obtención:

- Naturales
- Triturados

c) Modo de preparación:

- Agregados producidos con propósitos especiales, por ejemplo: agregados de acero para hormigón pesado, agregados ligeros, y agregados para pavimentos.

d) Tamaño:

Los agregados de acuerdo a su tamaño se clasifican en:

- Agregados Grueso, aquellos que tienen más de 5 mm y
- Agregados Finos, aquellos menores o igual a 5 mm

En nuestro país es muy frecuente encontrar las siguientes rocas clasificadas por su origen:

Clasificación según el origen de la roca.	
Rocas Ígneas	Granito, Sienita, Diorita, Gabbro, Peridotita, Pegmatita, Basalto y Vidrio Volcánico
Rocas Sedimentarias	Conglomerado, Arenisca, Limolita, Argilita -Lutita, Caliza y Chert
Rocas Metamórficas	Mármol, Metacuarcita, Gneiss, Hornfel, Pizarra, Filita, Esquisto, Anfibolita y Serpentinita

Tabla 2-3 Clasificación según el origen de las rocas

Fuente: EGÜEZ, H. (Agosto 1995)

En el presente trabajo investigativo se utilizó materiales triturados de origen volcánico para formar las mezclas que se propone utilizar como bases para pavimentos.

La mezcla emplea agregado grueso y fino de su respectiva mina, posteriormente se indicaran las especificaciones granulométricas escogidas.

La forma de venta de los agregados es denominada como ripio y arena, no se vende material exclusivo para base, el ripio puede contener una cantidad de finos, que aportara a la granulometría y debe ser tomada en cuenta.

Procedencia	Nombre de la Cantera	Material
Pomasqui	Corazón	Arena Ripio Piedra basáltica y bola
Mitad del Mundo	Rosita	Arena Ripio Piedra basáltica y bola

Tabla 2-4 Procedencia de los Agregados utilizados

Agregado Natural

Se denomina agregado natural al material granular que da como resultado de la disgregación y desgaste de rocas por efectos naturales.

La mayoría de agregados naturales utilizados como materiales de construcción son de origen aluvial, este tipo de agregados resulta más económica su extracción por la maquinaria sencilla necesaria para almacenamiento.

Agregado Triturado

Se denomina agregado triturado al material granular producido de manera artificial por la trituración de bloques de rocas extraídas por corte o explosión de grandes formaciones rocosas.

Mediante la implementación del proceso de trituración se consigue la reducción y ajuste de tamaños para diferentes aplicaciones en la construcción con el mismo material.

Del mismo bloque de roca extraída se puede obtener con la trituración material para base, ripio, material de fino polvo, etc.

2.2.2 ENSAYO DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

Densidad

Las Rocas son compuestas de una o más variedades minerales, la densidad está muy relacionada con el tipo de minerales que posee en su estructura y su porosidad.

Al trabajar con agregados, existen diferentes definiciones de densidad.

- **Densidad Absoluta**

Es la relación del peso de un sólido "excluyendo poros", con respecto a un volumen igual de agua destilada y libre de gases a determinada temperatura.

La determinación de este tipo de densidad es cuidadosa, porque la roca debe pulverizarse.

En construcción no es utilizada.

- **Densidad Aparente**

Es la relación del peso del sólido secado al horno a 100 °C por 24 horas, con relación al peso de igual volumen de agua, incluyendo en el volumen del sólido los poros impermeables pero no los capilares.

- **Densidad Saturada Superficialmente Seca (sss)**

Es la relación del peso del sólido en condición sss, incluyendo el agua en todos sus poros permeables con relación al peso de igual volumen de agua. Esta última es la que se utiliza a efectos de dosificaciones ya que el agua que contienen los poros no toma parte en la reacción química y, por tanto, se puede considerar como parte del agregado.

- **Masa unitaria o Peso Unitario**

Comúnmente en la construcción se maneja agregados por volumen ya que de esta manera se los adquiere, se los transporta y se los dosifica.

La forma utilizada para cuantificar las cantidades de agregados se denomina masa unitaria o peso unitario, esta masa se identifica de dos estados de estados, un estado es suelto y otro estado es compactado.

De una forma general esta masa unitaria se obtiene mediante un ensayo utilizando para esto un cilindro metálico de diámetro y profundidad que facilite la determinación del volumen, siguiendo las dimensiones sugeridas en la norma ASTM C 29, esta norma también sugiere el volumen de los cilindros dependiendo del tamaño máximo del agregado que se obtuvo en la granulometría.

Por experiencias se dice que la masa unitaria suelta se encuentra entre 90 a 95% de la masa compactada.

Utilizando las masas unitarias suelta y compactada podemos determinar el contenido de vacíos que tiene el árido, utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Contenido de Vacíos} = 1 - \frac{\text{Masa Unitaria}}{\text{Densidad del Árido}}$$

La masa unitaria tiene sus valores máximos cuando los agregados se encuentran en estado seco, un ejemplo fácilmente comprobable sucede con las arenas al contener agua superficial se dificulta la compactación, presenta un efecto de esponjamiento.

Por lo expuesto anteriormente es muy aconsejable al trabajar con agregados, como no se los puede mantener en estado seco por la presencia de humedad ambiental se debe registrar la humedad en el momento de utilización.

La siguiente tabla indica valores típicos de masas unitarias suelta y masas unitarias compactadas de rocas de algunos lugares del Ecuador.

TIPO	PROCEDENCIA	MUS (Kg/m ³)	MUC (Kg/m ³)
Puzolana (Chasqui)	Latacunga	425	
Diabasa	Chivaría – Guayas	1450	1650
Caliza Triturada	Huayco – Guayaquil	1315	1450
Chert Triturado	Guayaquil	1200	1355
Grava Aluvial	Shumiral – Azuay	1675	1820
Cisco Basáltico	Picoaza – Manabí	1275	1510

Tabla 2-5 Masa Unitaria de Varias Rocas

Fuente: EGÜEZ, H. (Agosto 1995).

OBJETIVO

Determinar el peso unitario aparente suelto y compactado de las muestras de agregados gruesos (ripio) y áridos finos (arena).

EQUIPO Y MATERIAL

1. Recipientes metálicos
2. Lavacaros metálicos
3. Balanzas ($A \pm 0,1\text{Kg.}$) y ($A \pm 0,2\text{Kg.}$)
4. Carretilla
5. Palas
6. Varilla $l= 60\text{cm}$ y $\phi=15\text{mm}$
7. Muestras de áridos finos y gruesos
8. Bandeja metálica.

PROCEDIMIENTO

PROCESO PARA EL PESO UNITARIO SUELTO

1. Ubicamos un recipiente metálico de volumen y masa conocida.
2. Llenamos con árido fino sin realizar ningún movimiento de compactación hasta sobrepasar el borde.
3. Con una varilla procedemos a eliminar el sobrante, este proceso se conoce como enraizar el material.
4. Pesamos el conjunto recipiente + árido fino en una balanza.
5. Para obtener el peso del árido fino restamos el peso del conjunto – peso del recipiente.
6. Repetimos 2 veces el procedimiento desde el paso número 2 a 5.
7. Los 3 valores obtenidos son promediados y obtenemos un valor de masa
8. El peso unitario aparente suelto se lo obtiene con la masa promediada y el volumen conocido.

Para el árido grueso repetimos los pasos expuestos.

PROCESO PARA EL PESO UNITARIO COMPACTADA

1. Ubicamos un recipiente metálico de volumen y masa conocida.
2. Llenamos con árido fino hasta la tercera parte del recipiente y golpeamos 25 veces de forma helicoidal, llenamos hasta las dos terceras partes y golpeamos 25 veces de forma helicoidal, llenamos hasta las sobrepasar el borde y golpeamos 25 veces de forma helicoidal.
3. Con una varilla procedemos a eliminar el sobrante del material.
4. Pesamos el conjunto recipiente + árido fino en una balanza.
5. Para obtener el peso del árido fino restamos el peso del conjunto – peso del recipiente.
6. Repetimos 2 veces el procedimiento desde el paso número 2 a 5.
7. Los 3 valores obtenidos son promediados y obtenemos un valor de masa
8. El peso unitario aparente compactado se lo obtiene con la masa promediada y el volumen conocido.

Para el árido grueso repetimos los pasos expuestos.

RESULTADOS

AGREGADO GRUESO NORMA ASTM C 29					
PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO					
PROYECTO: TESIS			UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO		
AGREGADO GRUESO			MINA:	ROSITA	
MASA DEL MATERIAL SUELTO		Ms= A-P	13374		gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTADO		Mc=B-P	14319		gr
PESO UNITARIO SUELTO		Ms/V	1347		kg/m3
PESO UNITARIO COMPACTADO		Mc/V	1442		kg/m3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO		A	22914		gr
Medición	1	2	3		
gr	22873	23017	22851		
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTADO		B	23859		gr
Medición	1	2	3		
gr	23786	23864	23928		
MASA MOLDE			P		9540 gr
VOLUMEN DEL MOLDE			V		9930 cm3

AGREGADO FINO NORMA ASTM C 29					
PESO UNITARIO AGREGADO FINO					
PROYECTO: TESIS			UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO		
AGREGADO FINO			MINA:	ROSITA	
MASA DEL MATERIAL SUELTO		Ms= A-P	16236		gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTADO		Mc=B-P	17279		gr
PESO UNITARIO SUELTO		Ms/V	1635		kg/m3
PESO UNITARIO COMPACTADO		Mc/V	1740		kg/m3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO		A	25776		gr
Medición	1	2	3		
gr	25725	25762	25841		
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTADO		B	26819		gr
Medición	1	2	3		
gr	26704	26852	26902		
MASA MOLDE			P		9540 gr
VOLUMEN DEL MOLDE			V		9930 cm3

AGREGADO GRUESO NORMA ASTM C 29					
PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO					
PROYECTO: TESIS			UBICACIÓN: POMASQUI		
AGREGADO GRUESO			MINA:	CORAZON	
MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms= A-P		12077		gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTADO	Mc=B-P		13804		gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms/V		1216		kg/m3
PESO UNITARIO COMPACTADO	Mc/V		1390		kg/m3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A		21617		gr
Medición	1	2	3		
gr	21577	21705	21570		
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTADO	B		23344		gr
Medición	1	2	3		
gr	23393	23390	23250		
MASA MOLDE			P		9540 gr
VOLUMEN DEL MOLDE			V		9930 cm3

AGREGADO FINO NORMA ASTM C 29					
PESO UNITARIO AGREGADO FINO					
PROYECTO: TESIS			UBICACIÓN: POMASQUI		
AGREGADO FINO			MINA:	CORAZON	
MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms= A-P		15269		gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTADO	Mc=B-P		16312		gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms/V		1538		kg/m3
PESO UNITARIO COMPACTADO	Mc/V		1643		kg/m3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A		24809		gr
Medición	1	2	3		
gr	24871	24761	24794		
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTADO	B		25852		gr
Medición	1	2	3		
gr	25830	25887	25838		
MASA MOLDE			P		9540 gr
VOLUMEN DEL MOLDE			V		9930 cm3

2.2.3 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

En mezclas para pavimentos, los agregados constituyen la mayor parte de su estructura en peso. Esto obliga a que los agregados tenga una relación directa con el comportamiento del pavimento, sin embargo además de la calidad de estos materiales se aplican otros criterios que influyen en la selección de los materiales que constituyen el pavimento. Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado.

Los agregados que cumplen la disponibilidad y costo también deben cumplir con propiedades para ser considerado apropiado para garantizar la calidad.

Estas propiedades son:

- Granulometría
- Abrasión
- Limpieza
- Forma de la Partícula

2.2.4 DETERMINACION DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS (NORMA AASHTO T-27)

Graduación y Tamaño máximo de la partícula

Todas las especificaciones de materiales utilizados en construcción y en especial en pavimentos requieren el cumplimiento del tamaño de partículas que conforman las mezclas de agregados, esto se consigue mediante el establecimiento de márgenes y la presencia de tamaños de partículas en ciertas proporciones.

La distribución de los diferentes tamaños de partículas que conforman los agregados se denomina graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es preciso comprender el método de medición del tamaño de las partículas y la graduación para determinar si el agregado cumple o no con las especificaciones.

Tamaño Máximo de la Partícula

El Tamaño Máximo de las Partículas más grandes de los agregados debe ser definitivo, porque las especificaciones sugieren un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado.

Existen dos criterios usados para la designación del tamaño máximo de partículas:

- **Tamaño Máximo Nominal**

Designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.

- **Tamaño Máximo**

Designado como un tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Se acostumbra que este tamiz sea el más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado

Granulometrías

La granulometría de las partículas se determina por análisis de tamices o granulometría sobre la muestra de los agregados.

El análisis de tamices consiste en pasar la muestra por una serie de tamices, cada tamiz tiene aberturas de tamaño específico, los tamices se los denomina por el tamaño de la abertura.

Para trabajar con agregados se los ha clasificado en dos grupos: por su tamaño, poniendo como característica los agregados retenidos por tamices grandes se denominan agregado grueso, y los retenidos por tamices pequeños, agregados finos.

La granulometría del agregado tiene en cuenta el porcentaje en peso total de la muestra que pasa por cada uno de los tamices.

La granulometría se determina calculando el peso del contenido de cada tamiz después de haber efectuado el análisis de tamices. Luego se resta el peso del contenido de cada tamiz del peso total de la muestra.

La forma de establecer la distribución granulometría de un agregado, es graficando el peso del agregado con el respectivo tamaño retenido.

Para la determinación del tamaño retenido se utilizan tamices con diferentes aberturas, estos tamices están formados de mallas cuadradas sobre marcos circulares que pueden ser colocados uno sobre otro.

Existen algunas series de tamices entre las más importantes las de Tyler que utiliza progresión geométrica descendente a razón de $\sqrt[10]{10}$ y la serie estándar US de la ASTM que utiliza una razón geométrica $\sqrt[4]{2} = 1.19$ desde del tamiz de $3 \frac{1}{2}$ pulgadas. (AVILA, 2004)

Existen ciertos términos usados para denominar a las fracciones de agregados, con el propósito de describirlos por su tamaño de la siguiente manera:

- Agregado Grueso: Material retenido por el tamiz 2.36 mm (N° 8)
- Agregado Fino: Material que pasa el tamiz 2.36 mm (N° 8)
- Relleno Mineral: Fracciones de agregado fino que pasa el tamiz de 0.6 mm (N° 30)
- Polvo Mineral: fracciones de agregado fino que pasa el tamiz de 0.075 mm (N° 200)

Existen dos métodos usados para determinar la graduación de los agregados: Tamizados en seco y tamizados por lavado. El tamizado en seco se usa con material de agregado grueso, Se aconseja utilizar tamizado por lavado cuando los agregados están cubiertos por polvo o material limo arcilloso.

Tamizado en Seco

- Las muestras para el tamizado se las reduce por medio de un “cuarteador” de muestras o cuarteo manual
- Se separa los materiales finos y gruesos
- Se secan las muestras para hasta tener un peso constante
- Las muestras finas y gruesas se tamizan por separado

Para el análisis granulométrico de agregados gruesos y finos para tamizado en seco según el MOP (MOP-001-F-2002, 2002) sugiere se siga la Norma INEN 697, (AASHTO T-27).



Fotografía 2-1 Tamizado de Agregados

Tamizado por vía húmeda

- Las muestras para tamizado por este método son lavadas con el objetivo de eliminar el polvo, limos y arcillas, después de haber sido reducidas, separadas, secadas y pesadas.
- Después de ser lavadas las muestras son nuevamente secadas y pesadas
- La diferencia en peso antes y después del lavado representa la cantidad de polvo, limos y arcillas en la muestra original.

Para el análisis granulométrico de agregados grueso y finos para tamizado por vía húmeda según el (MOP-001-F-2002, 2002) sugiere se siga la Norma INEN 696, (AASHTO T-11).



Fotografía 2-2 Lavado Tamizado vía Húmeda

OBJETIVO

Conocer la distribución de tamaños existente en las muestras de arena y ripio experimentadas, y luego realizar sus respectivas curvas granulométricas

EQUIPO

1. Balanza con sensibilidad de 0.1 % del peso de la muestra a ensayarse.
2. Juego de tamices: 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N° 4, N° 8, N° 10, N° 16, N° 40, N° 50, N° 200, incluyendo tapa y fondo, las mallas son de abertura cuadrada. (Dependiendo del uso se puede agregar o retirar tamices)
3. Horno de graduación de temperatura de hasta 110 °C como mínimo.
4. Bandeja con capacidad suficiente para colocar la muestra.
5. Depósito para lavar la muestra.



Fotografía 2-3 Serie de Tamices

PROCEDIMIENTO

El proceso de la determinación de una granulometría total de una muestra sería una actividad inútil que tomaría mucho tiempo, por este motivo es recomendable el procedimiento conocido como “Cuarteo” que consiste en disminuir el tamaño de la muestra por obtener una muestra representativa a un tamaño conveniente que facilite su manejo, o de dividirla en partes con similares características para utilizarlo en otros ensayos.

Se procede de la siguiente manera:

1. Se coloca la muestra buscando ocupar el mayor espacio posible en una superficie limpia y plana.
2. Se combina toda la muestra usando palas.
3. Se procede a formar con el material un depósito en forma cónico, este depósito cónico se aplana con palas quedando la muestra de forma circular uniforme.
4. Con las palas se procede a dividir en cuatro partes más o menos iguales, se eligen dos partes opuestas y se unen, desechándose las otras dos.



Fotografía 2-4 Cuarteo Manual

5. Existen cuarteadores mecánicos que dividen la muestra más rápidamente, de preferencia son utilizados para grandes cantidades de material, pero se obtiene el mismo resultado
6. Se repite el procedimiento anterior hasta tener la cantidad de material necesario para el análisis granulométrico, en nuestro caso por tener partículas de tamaño máximo 1 pulgada más o menos 5 a 6 kg para el agregado grueso, para el agregado fino se emplean cantidades desde 300 gramos.
7. Se seca en horno el material obtenido por cuarteo durante 24 horas a una temperatura de 110 °C o a la intemperie si el clima lo permite, la finalidad es conseguir un peso constante.
8. Se disuelven los terrones arcillosos del material. Se pesa la muestra seca sin lavar y se anota como Peso de la muestra secada al horno.
9. Se lava, vertiendo el agua con material suspendido en el tamiz N° 200, y se elimina el material que pasa por dicho tamiz, que vendría a ser la parte de arcilla del agregado.
10. Se seca la muestra lavada en horno a 110 °C por 24 horas, hasta que tenga peso constante. Es muy utilizado para comprobar si un material se encuentra seco colocar vidrio sobre la muestra, si se empaña es que todavía contiene humedad, sino se empaña la muestra está seca.

11. Se ubican los tamices colocándolos en forma descendente en cuanto a su diámetro, los diámetros mayores queden se sitúan arriba, el último tamiz colocado es el N° 200, debajo de la cual se coloca una base.
12. Se pasa el agregado por los tamices y se sacude un tiempo adecuado hasta que se observe que la muestra no pase al siguiente tamiz.



Fotografía 2-5 Tamizado de Agregados Finos

13. Para obtener mejores resultados se realiza el tamizado de agregados grueso y fino de manera separada, como sugerencia se hace pasar el total de la muestra primero por el tamiz N°4 para separar finos y gruesos.
14. Se coloca una base o fondo para tamizar por separado cada malla debajo de la que se coloca la misma y se tamiza hasta que no pase material a ésta, el pasante se agrega al tamiz siguiente. El material retenido en cada tamiz se coloca en la base y luego se pesa. Para el agregado grueso es sencillo colocarlo en la base, en el agregado fino es necesario cuidar que no se pierda material o que quede retenido en un tamiz para evitar esto se utilizara una escobilla.
15. En todos los tamices se realiza el mismo procedimiento, registrándose en cada uno el peso que retiene. También se apunta el material que se almacena en la base que paso la malla N° 200. Esto nos permite controlar en caso de existencia de errores. Se anota el peso seco lavado antes de pasarlo por los tamices, la suma de los pesos retenidos en los distintos tamices hasta la malla N° 200 más el peso que queda en la base debe coincidir con éste.

RESULTADOS

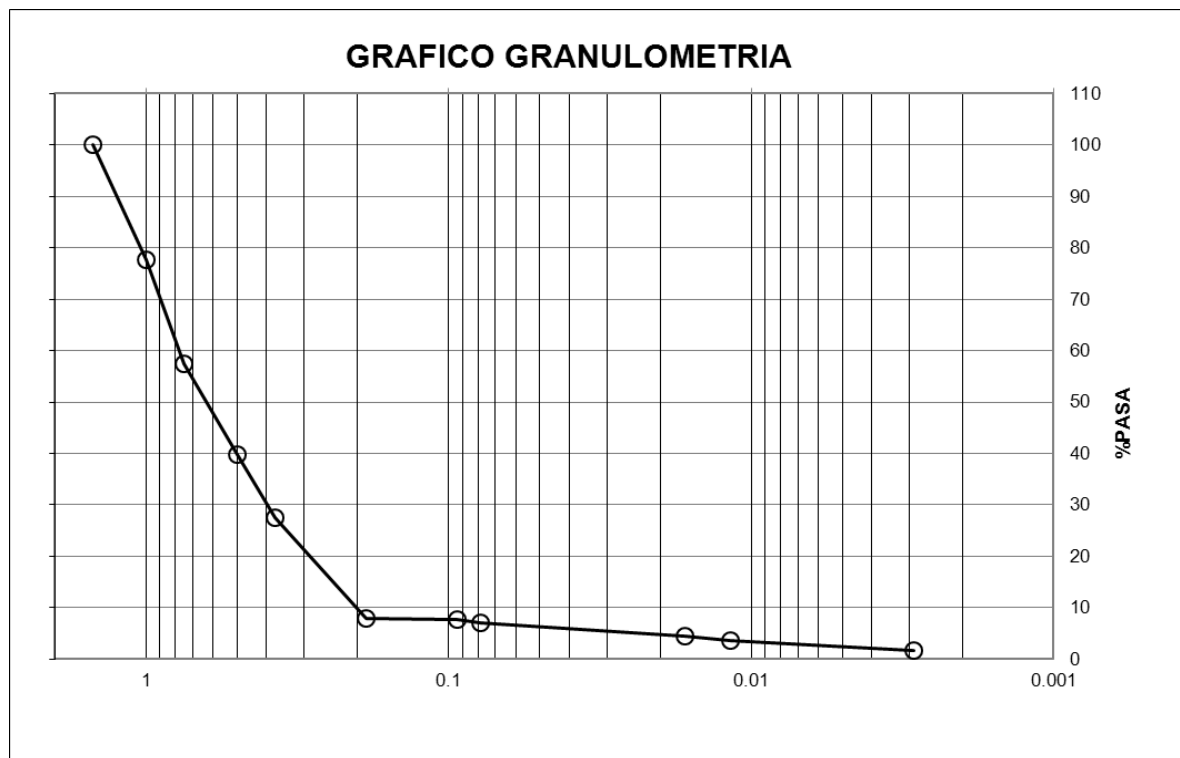
Los resultados de los análisis granulométricos en los agregados gruesos y finos de los agregados de Pomasqui y la Mitad del Mundo se encuentran en las siguientes tablas y gráficos

UBICACIÓN: POMASQUI

MINA: CORAZÓN

AGREGADO: FINO

TAMIZ	P.RET. ACUM	% ACUM	%PASA
1 1/2"	0	0	100
1	1110	22	78
3/4"	2123	43	57
1/2"	3005	60	40
3/8"	3623	73	27
Nº. 4	4594	92	8
Pasa Nº. 4	599	12	
Nº. 8	212.6	4	8
Nº. 10	251.7	5	7
Nº. 16	313.5	6	6
Nº. 40	372.7	7	5
Nº. 50	423.1	8	4
Nº. 200	515.9	10	2
Pasa Nº. 200	83.1	2	
TOTAL	4990		
CUARTEO			
Peso antes del lavado:		599	
Peso después del lavado:		515.9	



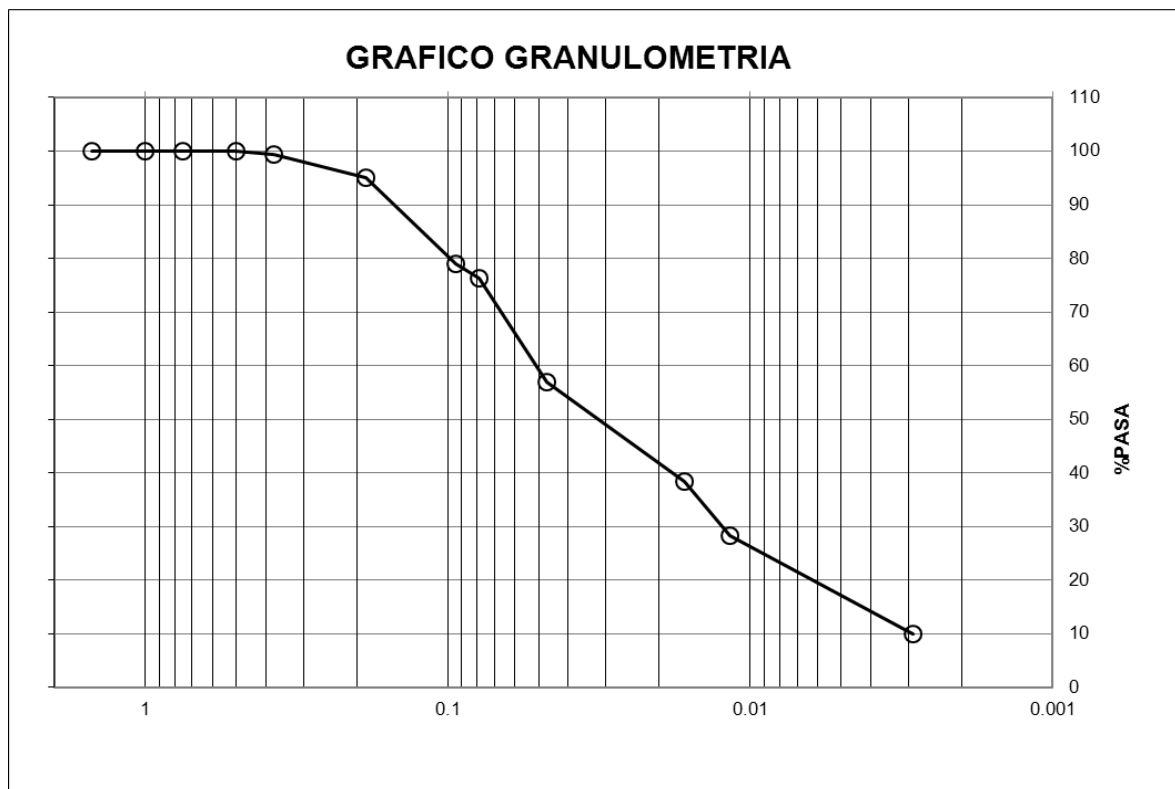
UBICACIÓN: POMASQUI

MINA: CORAZÓN

AGREGADO: FINO

TAMIZ	P.RET. ACUM	% ACUM	%PASA
1 1/2"			100
1			100
3/4"			100
1/2"			100
3/8"	2.16	1	99
Nº. 4	17.44	5	95
Nº. 8	73.8	21	79
Nº. 10	83.12	24	76
Nº. 16	151	43	57
Nº. 40	215.9	62	38
Nº. 50	251	72	28
Nº. 200	315.4	90	10
Pasa Nº. 200	34.6	10	
TOTAL	350		

CUARTEO		
Peso antes del lavado:	350	
Peso después del lavado:	315.4	

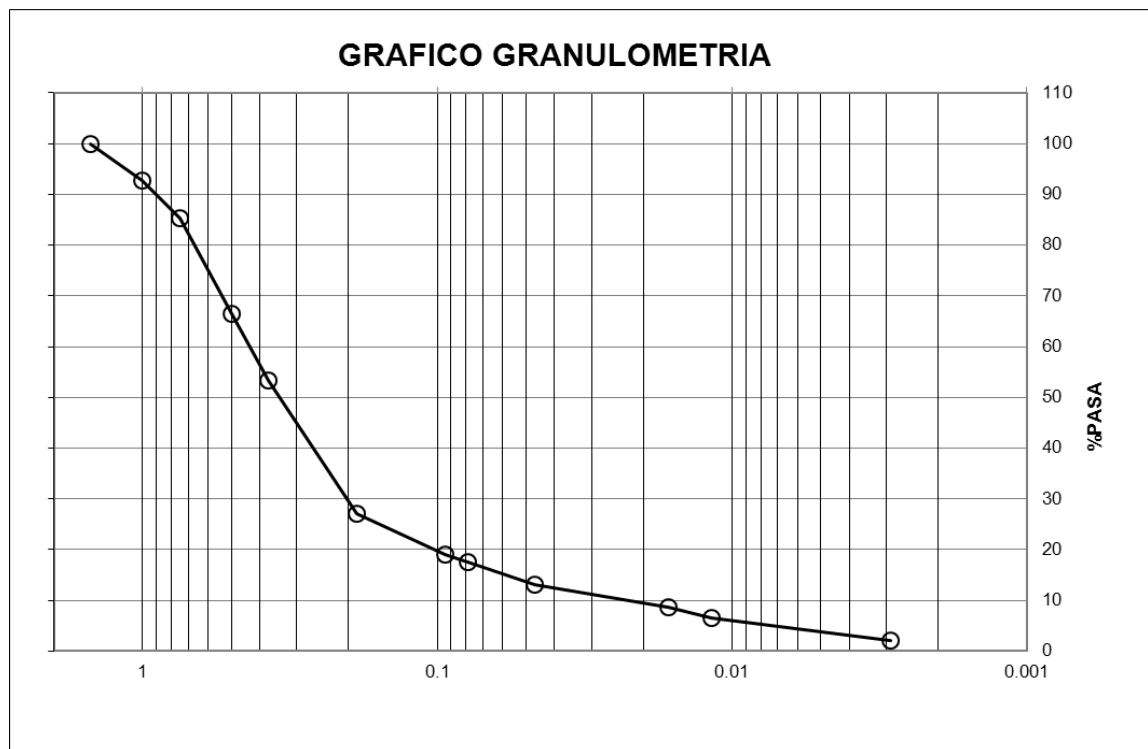


UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO

MINA: ROSITA

AGREGADO: GRUESO

TAMIZ	P.RET. ACUM	% ACUM	%PASA
1 1/2"		0	100
1	452.0	7	93
3/4"	912.0	15	85
1/2"	2096.0	34	66
3/8"	2907.0	47	53
Nº. 4	4540.0	73	27
Pasa Nº. 4	1695.0	27	
Nº. 8	146.6	8	19
Nº. 10	171.8	10	18
Nº. 16	253.1	14	13
Nº. 40	331.0	18	9
Nº. 50	368.1	21	7
Nº. 200	449.5	25	2
Pasa Nº. 200	37.5	2	
TOTAL	6235.0		
CUARTEO			
Peso antes del lavado:		487	
Peso después del lavado:		449.5	

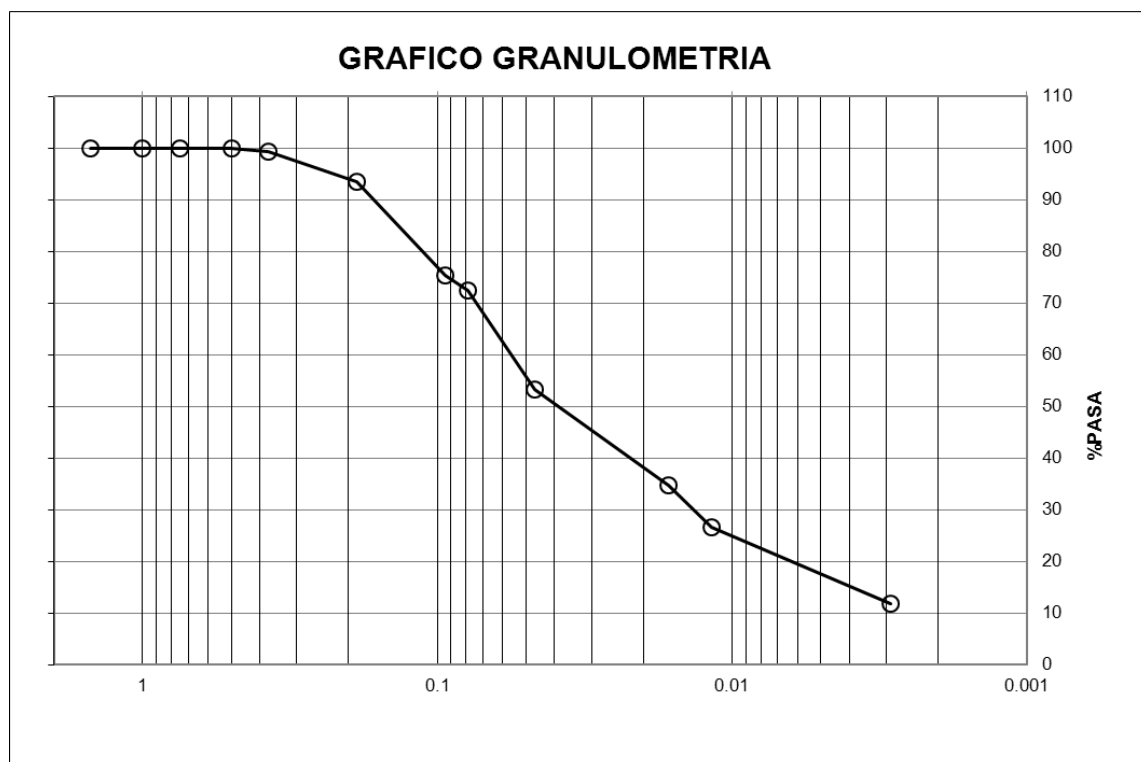


UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO

MINA: ROSITA

AGREGADO: FINO

TAMIZ	P.RET. ACUM	% ACUM	%PASA
1 1/2"			100
1			100
3/4"			100
1/2"			100
3/8"	4.0	1	99
Nº. 4	38.6	7	93
Nº. 8	143.0	25	75
Nº. 10	160.2	28	72
Nº. 16	272.0	47	53
Nº. 40	378.8	65	35
Nº. 50	425.8	73	27
Nº. 200	512.0	88	12
Pasa Nº. 200	68.4	12	
TOTAL	580.4		
CUARTEO			
Peso antes del lavado:		580.4	
Peso después del lavado:		512	



2.2.5 ENSAYO DE ABRASION PARA LOS AGREGADOS (NORMA AASHTO T 96)

Abrasión

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste y degradación en los procesos de producción, colocación y compactación de la construcción de pavimentación, y con mayor importancia durante la vida de servicio del pavimento.

La carga de la rueda ejerce una presión vertical considerada uniforme y alta en la superficie de rodadura distribuyéndola hasta que llegue mínimamente a la sub-rasante.

Por este motivo se exige que los agregados que estén más cerca de la superficie como los materiales de base y carpeta asfáltica, presenten mayor resistencia que los agregados usados en capas inferiores como la sub base, la razón se debe a que las capas superficiales reciben mayores esfuerzos y sufren mayor desgaste por parte de las cargas de tránsito.

La forma de transmisión de esfuerzos de los agregados es por medio de puntos de contacto donde se concentran altas presiones.

El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles, ASTM C-131 ó AASHTO T-96 y ASTM C-535, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión. (MINAYA GONZALES & ORDÓÑEZ HUAMAN, 2001).

Con mucha frecuencia se utiliza como un indicador de la calidad relativa de los agregados o rocas trituradas al resultado de este ensayo.

La medida de la degradación de los agregados se la obtiene mediante la acción combinada de roce e impacto.

El ensayo aplicado consiste básicamente en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente. Se añade una carga de esferas de acero y se le aplica un número determinado de revoluciones. El choque entre el agregado y las esferas da por resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje inicial.

En el ensayo de resistencia a la abrasión se utiliza la Máquina de los Ángeles. Este es un aparato constituido por un tambor cilíndrico hueco de acero de 500 mm de longitud y 700 mm de diámetro aproximadamente, con su eje horizontal fijado a un dispositivo exterior que puede transmitirle un movimiento de rotación alrededor del eje. El tambor tiene una abertura para la introducción del material de ensayo y de la carga abrasiva; dicha abertura está provista de una tapa que debe reunir las siguientes condiciones:

Asegurar un cierre hermético que impida la pérdida del material y del polvo.

Tener la forma de la pared interna del tambor, excepto en el caso de que por la disposición de la pestaña que se menciona más abajo, se tenga certeza de que el material no puede tener contacto con la tapa durante el ensayo.

Tener un dispositivo de sujeción que asegure al mismo tiempo la fijación rígida de la tapa al tambor y su remoción fácil.

El tambor tiene fijada interiormente y a lo largo de una generatriz, una pestaña o saliente de acero que se proyecta radialmente, con un largo de 90 mm aproximadamente. Esta pestaña debe estar montada mediante pernos u otros medios que aseguren su firmeza y rigidez. La posición de la pestaña debe ser tal que la distancia de la misma hasta la abertura, medida sobre la pared del cilindro en dirección de la rotación, no sea menor de 1250 mm. La pestaña debe remplazarse con un perfil de hierro en ángulo fijado interiormente a la tapa de la boca de entrada, en cuyo caso el sentido de la rotación debe ser tal que la carga sea arrastrada por la cara exterior del ángulo.

Una carga abrasiva consiste en esfera de fundición o de acero de unos 48 mm de diámetro y entre 390 y 445 gramos de masa, cuya cantidad depende del material que se ensaya, tal como se indica en la siguiente tabla.

METODO		A	B	C	
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz				
1 ½"	1"	1 250±25			
1"	¾"	1 250±25			
¾"	½"	1 250±10	2 500±10		
½"	3/8"	1 250±10	2 500±10		
3/8"	¼"			2 500±10	
¼"	Nº4			2 500±10	
Nº4	Nº8				5 000±10
PESO TOTAL		5 000±10	5 000±10	5 000±10	5 000±10
Nº de esferas		12	11	8	6
Nº de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación (minutos)		15	15	15	15

Tabla 2-6 Peso de agregado y Número de Esferas para agregados gruesos hasta de 1 ½"

Fuente: Ensayo de Abrasión ASTM C-131



Fotografía 2-6 Material después del Ensayo en la Máquina de los Ángeles

OBJETIVO

Determinar el porcentaje de desgaste de los agregados gruesos, por medio de la máquina de los Ángeles.

EQUIPO

1. Máquina de desgaste de Los Ángeles
2. Tamices. De los siguientes tamaños: 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", N°4, N°8. Un tamiz N°12 para el cálculo del desgaste
3. Esferas de acero. De 46.38 a 47.63 mm de diámetro de peso equivalente entre 390 a 445 gr.
4. Horno. Capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C
5. Balanza. Sensibilidad de 1.0 gr.

MATERIAL Y CARGA ABRASIVA A UTILIZAR

La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir dependen de la granulometría del agregado grueso. Se utilizara la anterior tabla propuesta ASTM C-131

PROCEDIMIENTO

1. El material deberá ser lavado y secado en horno a una temperatura constante de 105 -110 °C, tamizadas según las mallas que se indican y mezcladas en las cantidades del método al que correspondan.
2. Pesar la muestra con precisión de 5 gr. para agregados gruesos de tamaños mayores a 3/4".

3. Introducir la muestra junto con la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles, cerrar la abertura del cilindro con su tapa. Accionar la máquina, regulándose el número de revoluciones adecuado según el método.
4. Finalizado el tiempo de rotación, se saca el agregado y se tamiza por la malla N°12.
5. El material retenido en el tamiz N°12 se lava y seca en horno, a una temperatura constante entre 105° a 110°C pesar la muestra con precisión de 1 gr.

CÁLCULOS

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje de desgaste, calculándose como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra de ensayo con respecto al peso inicial.

$$\%Desgaste = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} \times 100$$

RESULTADOS

Los resultados del ensayo de abrasión de los agregados de Pomasqui y la Mitad del mundo se presentan en las siguientes tablas:

UBICACIÓN: POMASQUI

MINA: CORAZÓN

AGREGADO: GRUESO

Peso Original (g)		5000
P. Ret. Tamiz N° 12 (g)		1935
P. Pasa Tamiz N° 12(g)		3065
Desgaste (%)		61
N° de bolas		12
Graduación:		A
N° de Revoluciones.		500
Especificado	(%)	< 50

Nota: Los agregados no cumplen la especificación

UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO

MINA: ROSITA

AGREGADO: GRUESO

Peso Original (g)	5000
P. Ret. Tamiz N° 12 (g)	2054
P. Pasa Tamiz N° 12(g)	2946
Desgaste (%)	59
N° de bolas	12
Graduación:	A
N° de Revoluciones.	500
Especificado (%)	< 50

Nota: Los agregados no cumplen la especificación

2.2.6 LIMPIEZA

La aceptación de los agregados pone un límite a tipos y cantidades de materiales no deseados como vegetación, arcillas, esquistos, terrones de arcilla entre las sustancias más comunes que pueden encontrarse en los agregados. Este tipo de sustancias en cantidades excesivas pueden afectar desfavorablemente el comportamiento de los materiales.

La limpieza del agregado puede determinarse, fácilmente por inspección visual mediante el tamizado por lavado para una medida más exacta del porcentaje material indeseable más fino que 0.075 mm (tamiz N° 200).

2.2.7 ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA (NORMA AASHTO T 176)

El ensayo de equivalente de arena (AASHTO T 176 o ASTM D-2419) es un método para determinar las cantidades indeseables de polvo fino y arcilla en la muestra de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (Nº 4).

El término de equivalente de arena asume que todos los suelos tienen partículas de diferentes tamaños estos se encuentran mezclados desde tamaños gruesos, arenas y finos.

En el ensayo se puede definir al equivalente de arena como la relación entre la altura de la arena con respecto a la altura de la arcilla expresada en porcentaje.

Este procedimiento puede utilizarse fácilmente en obra para determinar cambios en la calidad de los agregados.

OBJETIVO

Asignar un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz Nº4 (4.75 mm).

EQUIPO

1. Tubo irrigador. de acero inoxidable, cobre o bronce, de 6.35 mm de diámetro exterior, 508 mm de longitud, cuyo extremo inferior está cerrado en forma de cuña. Tiene dos agujeros laterales de 1 mm de diámetro en los dos planos de la cuña cerca de la punta.
2. Sistema de Sifón. Se compone de un botellón de 1 galón (3.8 lt) de capacidad con un tapón. El tapón tiene dos orificios que lo atraviesan, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El conjunto deberá ubicarse a 90 cm por encima de la mesa.
3. Probeta graduada. Con diámetro interior de 31.75 ± 0.381 mm y 431.8 mm de altura graduada hasta una altura de 381 mm, provista de un tapón de caucho o goma que ajuste en la boca del cilindro.
4. Tubo flexible. De caucho o goma con 4.7 mm de diámetro, tiene una pinza que permite cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo permite conectar el tubo irrigador con el sifón.
5. Pisón de metal. Consistente en una barra metálica de 457 mm de longitud que tiene enroscado en su extremo inferior un disco metálico de cara inferior plana perpendicular al eje de la barra y cara superior de forma cónica. El disco lleva tres tornillos pequeños que sirven para centrarlo dentro del cilindro. Lleva una sobrecarga en forma cilíndrica, de tal manera que el conjunto pese 1 kg. (barra metálica, disco y sobrecarga).
6. Recipiente metálico. De estaño aproximadamente de 57 mm de diámetro con capacidad de 85 ± 5 ml, borde superior uniforme de modo que la muestra que se coloca en ella se pueda enrasar para conseguir el volumen requerido.

7. Cronómetro o reloj. Lecturas en minutos y segundos
8. Embudo. De boca ancha para incorporar la muestra de ensayo en la probeta graduada.
9. Tamiz. Tamiz N°4 según especificaciones ASTM E11
10. Recipiente para mezcla
11. Horno. Capaz de mantener temperaturas de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
12. Papel filtro

Preparación de la Solución Madre

Reactivos y materiales

1. Agua destilada
2. Reactivos y materiales
3. Cloruro de calcio anhidro, 454 gr.
4. Glicerina USP, 2050 gr (1640 ml)
5. Formaldehído, (40% en volumen) 47 gr (45 ml)

Preparación

1. Disolver 454 gr. cloruro de calcio anhidro en 0.5 gal (1.9 lt) de agua destilada.
2. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se pasa por papel de filtro. A la solución filtrada se le incorpora los 2050 gr de glicerina y 47 gr. de formaldehído mezclar bien.

Preparación de la Solución de Trabajo

Reactivos y materiales

1. Solución madre
2. Agua destilada

Preparación

1. Diluir 85 ± 5 ml de la solución madre en 1 gal (3.8 lt) de agua destilada

Preparación de la muestra

1. Separar aproximadamente 1500 gr de material que pase el tamiz N° 4 (4.75 mm) ASTM D 75 de acuerdo ASTM 702.
2. Secar la muestra de ensayo a peso constante de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y dejarlo enfriar a temperatura ambiente antes del ensayo.

Preparación de Aparatos

1. Ajustar el sifón a un botellón de 1.0 gal (3.8 lt) conteniendo la solución de trabajo de cloruro de calcio. Colocarlo en un lugar ubicado a 91 ± 3 cm sobre la mesa de trabajo.
2. Soplar el sifón dentro del botellón con solución, por el tubo de purga y con la abrazadera abierta.

PROCEDIMIENTO

1. Por el sifón verter 102 ± 3 mm (4 pulg). de solución de trabajo de cloruro de calcio, en la probeta.
2. Con ayuda del embudo verter en la probeta, 85 ± 5 cm³ del suelo preparado.
3. Golpear la parte baja del cilindro varias veces con la palma de la mano para desalojar las posibles burbujas de aire y para humedecer completamente la muestra. Dejar reposar durante 10 ± 1 min.
4. Transcurridos los 10 min., tapar la probeta con un tapón; suelte el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo a la vez. El material puede ser agitado con cualquiera de los siguientes métodos:

a. Método mecánico

- i. Colóquese la probeta tapada en el agitador mecánico, y permitir que lo sacuda por 45 ± 1 s.

b. Método del agitador manual

- i. Ajustar la probeta tapada con las tres pinzas de resorte, sobre el soporte del agitador manual y ponga el contador en tiempo cero.
- ii. Párese frente al agitador y fuerce el puntero sobre la marca límite pintada en el tablero, aplicando la fuerza horizontal sobre la biela resortada del lado derecho. Luego retirar la mano de la biela y deje que la acción del resorte mueva el soporte y la probeta en la dirección opuesta sin ayuda e impedimento alguno.
- iii. Aplique suficiente fuerza a la biela resortada, con la mano derecha, durante el recorrido con empuje para llevar el índice hasta la marca límite del émbolo, empujando la biela con la punta de los dedos para mantener un movimiento oscilatorio suave. El centro del límite de carrera está colocado para prever la longitud adecuada del movimiento y su ancho se ajusta al máximo de variación permitida. La cantidad correcta de agitación se logra solamente cuando el extremo del índice invierte su dirección dentro de los límites marcados. Una correcta agitación puede mantenerse usando solamente el antebrazo y la muñeca para mantener el agitador.
- iv. Continúe la agitación por 100 ciclos.

c. Método manual

- i. Sujetar la probeta en posición horizontal y sacudirla vigorosamente de izquierda a derecha.
 - ii. Agitar el cilindro 90 ciclos en 30 segundos, usando un recorrido de 23 ± 3 cm. Un ciclo se define como el movimiento completo a la derecha seguido por otro a la izquierda. El operador deberá mover solamente los antebrazos manteniendo el cuerpo y hombros relajados.
5. Concluida con la operación de agitación, colocar la probeta verticalmente sobre la mesa de trabajo y quitar el tapón.

Proceso de irrigación.

1. El cilindro no deberá moverse de su posición vertical y con la base en contacto con la superficie de trabajo.
2. Introduzca el tubo irrigador en la parte superior de la probeta, suelte la abrazadera de la manguera y limpie el material de las paredes de la probeta mientras el irrigador baja.
3. El irrigador debe llegar hasta el fondo, aplicando suavemente una presión y giro mientras que la solución de trabajo fluye por la boca del irrigador, esto impulsa el material fino desde el fondo hacia arriba poniéndolo sobre las partículas gruesas de arena.
4. Cuando el nivel del líquido alcance la señal de los 38 cm, levante el tubo irrigador despacio sin que deje de fluir la solución, de tal manera que el nivel se mantenga cerca de 38.0 cm mientras se saca el tubo. Regule el flujo justo antes que el tubo esté completamente fuera y ajuste el nivel final a los 38.0 cm.

Lectura de arcilla.

1. Dejar reposar durante 20 min. \pm 15 s. Comience a medir el tiempo luego de retirar el tubo irrigador.
2. Al término de los 20 min., leer el nivel superior de la suspensión de arcilla. Este valor se denomina lectura de arcilla. Si la línea de marca no es clara transcurridos los 20 min. del período de sedimentación, permita que la muestra repose sin ser perturbada hasta que una lectura de arcilla pueda ser claramente obtenida; inmediatamente, lea y anote el nivel máximo de la suspensión arcillosa y el tiempo total de sedimentación. Si el período total de sedimentación excede los 30 min., efectúe nuevamente el ensayo, usando tres especímenes individuales de la misma muestra. Registre la lectura de la columna de arcilla para la muestra que requiere el menor tiempo de sedimentación como lectura de arcilla.

Lectura de arena.

1. Después de la lectura de arcilla, introduzca en la probeta el ensamblaje del pie (conjunto del disco, varilla y sobrepeso) y baje lentamente hasta que llegue sobre la arena. No permitir que el indicador golpee la boca de la probeta mientras se baja el conjunto.
2. Cuando el conjunto toque la arena con uno de los tornillos de ensamblaje hacia la línea de graduación de la probeta, lea y anote. Restar 25.4 cm. del nivel indicado en el borde superior del indicador y registrar este valor como la lectura de arena.
3. Después de tomar la lectura de arena, tenga cuidado de no presionar con el pie porque podría dar lecturas erróneas.
4. Si las lecturas de arcilla y arena están entre 2.5 mm de graduación (0.1 pulgadas), registrar el nivel de graduación inmediatamente superior como lectura.



Fotografía 2-7 Medición de Alturas en Ensayo de Equivalente de Arena

RESULTADO

Los resultados del ensayo de Equivalente de Arena de los agregados de Pomasqui y la Mitad del mundo se presentan en las siguientes tablas:

UBICACIÓN: POMASQUI

MINA: CORAZÓN

AGREGADO: FINO

LECTURA INICIAL	A=	32.48 cm	
LECTURA FINAL	B=	15.42 cm	
FORMULA EMPLEADA			
	$C=(B/A)*100$		
EQUIVALENTE DE ARENA			
	C=	47.48%	

Nota: Se aceptan los materiales

UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO

MINA: ROSITA

AGREGADO: FINO

LECTURA INICIAL	A=	34.48	cm
LECTURA FINAL	B=	17.86	cm
FORMULA EMPLEADA			
		$C=(B/A)*100$	
EQUIVALENTE DE ARENA			
	C=	51.80%	

Nota: Se aceptan los materiales

2.2.8 ENSAYO DE COLORIMETRÍA (NORMA ASTM C 40)

La determinación del contenido orgánico es visual se realiza el análisis de colorimetría en los agregados finos según la Norma INEN 855 ó ASTM C 40.

Se considera que la arena contiene componentes posiblemente orgánicos perjudiciales, si el color del líquido que flota por encima de la muestra de ensayo, es más oscuro que el color normal de referencia.

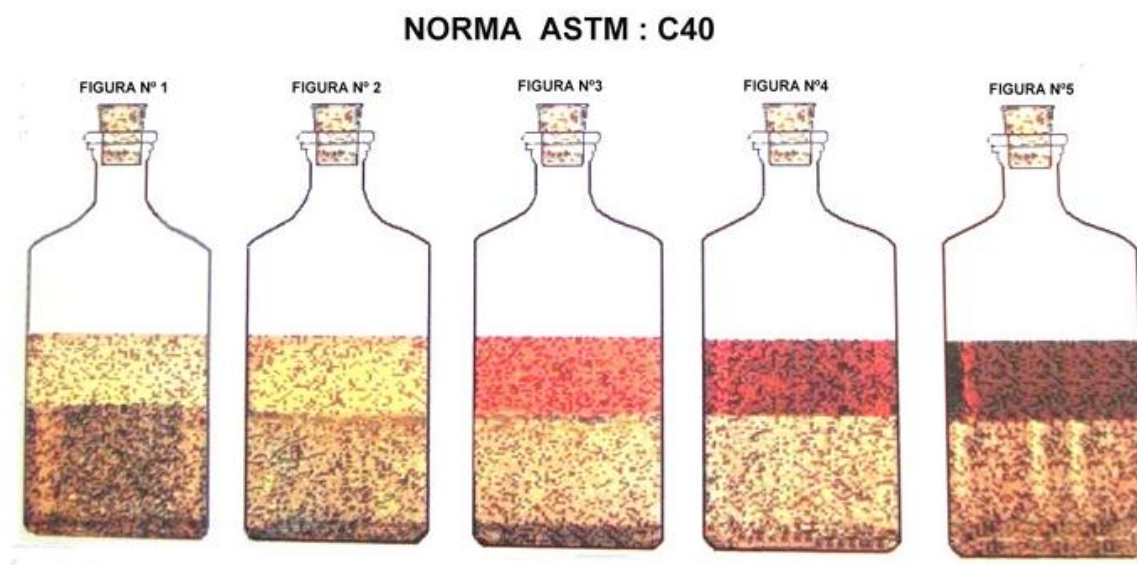


Figura 2-2 Ejemplos de la Norma ASTM C: 40

OBJETIVO

Determinar la presencia de materia orgánica en agregados finos, mediante la utilización de una sustancia reactiva.

EQUIPO

1. Solución de hidróxido de sodio (3 %).
2. Frasco de incoloro con tapa

PROCEDIMIENTO

1. Se disuelve 3 partes en masas de Hidróxido de Sodio en 97 partes de agua destilada.
2. Se toma una muestra 500 gr. por el método de cuarteo manual o mecánico.
3. Se coloca arena en el frasco hasta completar su volumen de aproximadamente 130 cm³.

4. Se añade la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen total de la arena y el líquido después de agitado, sea igual a 200 cm³ aproximadamente.
5. Se tapa el frasco, se agita vigorosamente y se deja reposar por 24 horas.
6. Al final del período de 24 horas de reposo se compara su color con el del líquido que flota en la solución que contiene la arena. La comparación de colores se hace poniendo juntos el frasco que contiene la muestra.

RESULTADOS

Los resultados del ensayo de abrasión de los agregados de Pomasqui y la Mitad del mundo se presentan en las siguientes tablas.

UBICACIÓN: POMASQUI


MINA: CORAZÓN

AGREGADO: FINO

La tabla de colores estándar del aparato es utilizada en lugar de las soluciones de color estándar y elimina la necesidad de preparar una nueva solución para cada prueba

PESO MUESTRA	220	g
SOLUCIÓN Na OH (3%)	100	ml

Después de 24 horas de realizado el Ensayo de Colorimetría, se obtuvo lo siguiente;

TABLA DE COLORES ESTÁNDAR		RESULTADO DE LA PRUEBA		
		COLOR DEL LÍQUIDO DE LA MUESTRA	INTERPRETACIÓN	CONCLUSIÓN
Más claro			Poco o ningún contenido de componente orgánico dañino	Aprobado para el uso
		X		
Color estándar de referencia			Contenido de componente orgánico aceptable	
Más oscuro			Posibilidad de contenido orgánico dañino	Advertencia necesita otras verificaciones

UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO


MINA: ROSITA

AGREGADO: FINO

La tabla de colores estándar del aparato es utilizada en lugar de las soluciones de color estándar y elimina la necesidad de preparar una nueva solución para cada prueba

PESO MUESTRA 220 g
SOLUCIÓN Na OH (3%) 100 ml

Después de 24 horas de realizado el Ensayo de Colorimetría, se obtuvo lo siguiente;

TABLA DE COLORES ESTÁNDAR		RESULTADO DE LA PRUEBA		
		COLOR DEL LÍQUIDO DE LA MUESTRA	INTERPRETACIÓN	CONCLUSIÓN
Más claro			Poco o ningún contenido de componente orgánico dañino	Aprobado para el uso
		X		
Color estándar de referencia			Contenido de componente orgánico aceptable	
Más oscuro			Posibilidad de contenido orgánico dañino	Advertencia necesita otras verificaciones

Nota: Los agregados son aptos para el uso

2.2.9 ENSAYO DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS (NORMA ASTM D5821)

Forma de la Partícula

La forma de las partículas de los agregados tiene gran influencia en la trabajabilidad de una mezcla utilizada en pavimentos en especial al momento de la colocación, la forma de las partículas de agregados tiene relación con la cantidad de energía utilizada en la compactación de la mezcla para conseguir densidades de diseño. La resistencia estructural tiene concordancia con forma de las partículas.

Es muy común que las normas propongan partículas de agregados con formas irregulares y angulares buscando el beneficio de que presentan estas formas de resistencia al desplazamiento evitando el movimiento interno del pavimento por la facilidad de entrelazarse resultado de la compactación.

La trituración de rocas da los mejores agregados porque las partículas tienen como resultado formas puntiagudas y cubicas que facilitan el entrelazamiento.

Dependiendo de la disponibilidad de materiales también se utilizan agregados que sus partículas tiene formas angulares y redondeadas.

Los tamaños de las partículas en los pavimentos tiene diferentes comportamientos, así: las partículas gruesas proporcionan la resistencia en el pavimento se las obtiene de grava triturada o de piedras. Las partículas finas suministran la trabajabilidad que se obtienen de arenas.

Ensayo de Porcentaje Caras Fracturadas en los Agregados

Nuestro país tiene en sus especificaciones técnicas (MOP-001-F-2002, 2002) requisitos relacionados al porcentaje de agregado grueso con caras fracturadas el propósito de controlar esta característica es garantizar la resistencia a esfuerzos cortantes aumentando la fricción entre partículas. Resultado de este aumento también es el mejoramiento de estabilidad de los agregados empleados en pavimentos.

Para la realización de este ensayo se basa en la norma ASTM D 5821-95, el método describe la determinación del porcentaje, en peso, de una muestra de agregado grueso que presenta una, dos o más caras fracturadas.

Para la realización de este ensayo es importante conocer algunas definiciones como las siguientes:

Cara Fracturada una cara angular, lisa o superficie fracturada de una partícula de agregado formada por trituración, otros medios artificiales o por la naturaleza. (MINAYA GONZALES & ORDÓÑEZ HUAMAN, 2001)

La discusión para esta norma es que una cara será considerada “cara fracturada” solamente si esta tiene un área mínima proyectada tan grande como un cuarto de la máxima área proyectada (máxima área de la sección transversal) de la partícula y la cara tiene aristas bien definidas; esto excluye las pequeñas irregularidades.

Partícula fracturada, una partícula de agregado es fracturada si tiene el número mínimo de caras fracturadas especificadas (usualmente uno o dos). (MINAYA GONZALES & ORDÓÑEZ HUAMAN, 2001)

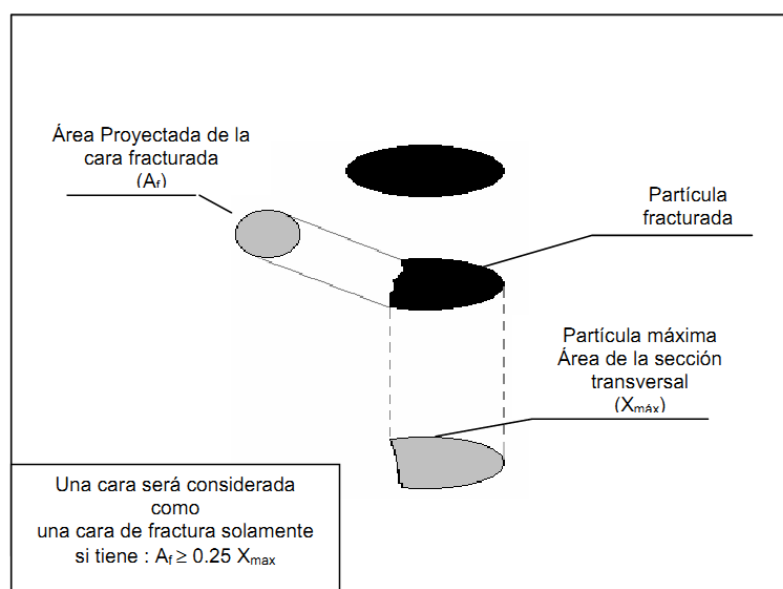


Figura 2-3 Criterio para Caras Fracturadas

OBJETIVO

Determinar el porcentaje, en peso, de una muestra de agregado grueso que presenta una, dos o más caras fracturadas.

EQUIPO

1. Balanza. de 5 Kg. y sensibilidad al gramo
2. Tamices.
3. Cuarteador de muestras
4. Espátula

PROCEDIMIENTO

Preparación de la muestra:

1. Secar la muestra, cuartearla para conseguir una muestra representativa.
2. Se sugiere que la muestra para el ensayo tenga una cantidad similar en peso de la siguiente tabla:

Tamaño Máximo Nominal	Peso mínimo para el ensayo (gr)
3/8"	200
1/2"	500
3/4"	1500
1"	3000
1 1/2"	7500
2"	15000
2 1/2"	30000
3"	60000
3 1/2"	90000

3. Tamizar el material grueso y fino completamente, por la malla N°4

Procedimiento

1. Lavar la muestra sobre la malla designada y remover cualquier fino, ponerla a secar
2. Determinar la masa de la muestra con una aproximación de 0.1%.
3. Extender la muestra seca sobre una superficie plana, limpia y lo suficientemente grande como para permitir una inspección. Para verificar si la partícula alcanza o cumple el criterio de fractura, sostener el agregado de tal manera que la cara sea vista directamente. Si la cara constituye al menos 1/4 de la máxima sección transversal, considerarla como cara fracturada.
4. Usando la espátula separar en tres categorías.
 - a. Partículas fracturadas dependiendo si la partícula tiene el número requerido de caras fracturadas;
 - b. Partículas que no reúnen el criterio especificado; y
 - c. Partículas cuestionables.
5. Si el número requerido de caras fracturadas no se consigue en las especificaciones, la determinación será hecha sobre la base de un mínimo de una cara fracturada.

RESULTADOS

Los resultados del ensayo de caras fracturadas para los agregados de las Minas estudiadas se los puede revisar en las siguientes tablas.

UBICACIÓN: POMASQUI

MINA: CORAZÓN

AGREGADO: GRUESO

a) Con una cara fracturada					
Tamaño del Agregado	Retenido	Con una Cara Fracturada		Porcentaje Parcial Retenido	Porcentaje Parcial Fracturado
	A	B	C	D	E
	(gr)	(gr)	(B/A)*100	% PARCIAL	CXD
1	382	382	100.0%	24%	23.9%
3/4	365	350	95.9%	23%	21.9%
1/2	296	290	98.0%	19%	18.1%
3/8	226	218	96.5%	14%	13.6%
4	331	310	93.7%	21%	19.4%
TOTAL	1600			100%	96.9%
Porcentaje con una cara fracturada		=	TOTAL E		96.9%
			TOTAL D		
b) Con dos o más caras fracturadas					
Tamaño del Agregado	Retenido	Con dos o más caras fracturada		Porcentaje Parcial Retenido	Porcentaje Parcial Fracturado
	A	B	C	D	E
	(gr)	(gr)	(B/A)*100	% PARCIAL	CXD
1	382	382	100.0%	24%	23.9%
3/4	365	340	93.2%	23%	21.3%
1/2	296	260	87.8%	19%	16.3%
3/8	226	220	97.3%	14%	13.8%
4	331	305	92.1%	21%	19.1%
TOTAL	1600			100%	94.2%
Porcentaje con dos o más caras		=	TOTAL E		94.2%
			TOTAL D		

Nota: Los agregados cumplen con las especificaciones requeridas

UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO

MINA: ROSITA

AGREGADO: GRUESO

a) Con una cara fracturada					
Tamaño del Agregado	Retenido	Con una Cara Fracturada		Porcentaje Parcial Retenido	Porcentaje Pracial Fracturado
	A	B	C	D	E
	(gr)	(gr)	(B/A)*100	% PARCIAL	CXD
1	153	153	100.0%	10%	9.6%
3/4	175	150	85.7%	11%	9.4%
1/2	416	400	96.2%	26%	25.0%
3/8	284	260	91.5%	18%	16.3%
4	569	520	91.4%	36%	32.5%
TOTAL	1600			100%	92.7%
Porcentaje con una cara fracturada		=	TOTAL E		92.7%
			TOTAL D		
b) Con dos o más caras fracturadas					
Tamaño del Agregado	Retenido	Con dos o más caras fracturada		Porcentaje Parcial Retenido	Porcentaje Parcial Fracturado
	A	B	C	D	E
	(gr)	(gr)	(B/A)*100	% PARCIAL	CXD
1	153	153	100.0%	10%	9.6%
3/4	175	140	80.0%	11%	8.8%
1/2	416	380	91.3%	26%	23.8%
3/8	284	240	84.5%	18%	15.0%
4	569	490	86.1%	36%	30.6%
TOTAL	1600			100%	87.7%
Porcentaje con dos o más caras		=	TOTAL E		87.7%
			TOTAL D		

Nota: Los agregados cumplen con las especificaciones requeridas

2.3 BASES GRANULARES

La finalidad de esta capa es la absorción de esfuerzos generados por la presencia de vehículos, además repartir de una forma uniforme los esfuerzos a las capas inferiores.

Es muy común la fabricación de esta capa con materiales como piedra triturada, grava o mezclas estabilizadas de estos materiales.

2.3.1 BASES CON MATERIALES CLASIFICADOS

Existen diferentes especificaciones para materiales que conforman la base de pavimentos, en nuestro país. El MOP indica que los materiales que forman la base deben cumplir las siguientes condiciones:

- Los agregados serán elementos limpios, sólidos y resistentes, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas.
- Cuando se requiera, para lograr las exigencias de graduación o eliminar un exceso de material fino, la piedra o grava deberá ser cribada antes de triturarla.
- Los agregados empleados en la construcción de capas de Base deberán graduarse uniformemente de grueso a fino y cumplirán las exigencias de granulometría de sus propias especificaciones, lo cual será comprobado mediante ensayos granulométricos, siguiendo lo establecido en la Norma INEN 696 y 697 (AASHTO T-11 y T-27), luego de que el material ha sido mezclado en planta, o colocado en el camino.
- Los agregados gruesos no presentarán un porcentaje de desgaste mayor a 40 en el ensayo de abrasión, Normas INEN 860 y 861 (AASHTO T-96), con 500 vueltas de la máquina de Los Ángeles, ni arrojarán una pérdida de peso mayor al 12% en el ensayo de durabilidad, Norma INEN 863 (AASHTO T-104), luego de 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio.
- La porción del agregado que pase el tamiz N° 40, incluyendo el relleno mineral, deberá carecer de plasticidad o tener un límite líquido menor de 25 y un índice de plasticidad menor de 6, al ensayarse de acuerdo a los métodos establecidos en las Normas INEN 691 y 692 (AASHTO T-89 y T-90).
- De ser necesario para cumplir las exigencias de graduación, se podrá añadir a la grava arena o material proveniente de trituración, que podrán mezclarse en planta o en el camino.

Las bases se clasifican en 4 clases que son las siguientes:

- Clase 1: Son bases constituidas por agregados gruesos y finos, triturados en un 100% graduados uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados para los Tipos A y B.

- Clase 2: Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 50% en peso, graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos
- Clase 3: Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 25% en peso, graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos
- Clase 4: Bases obtenidas por trituración o cribado de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas, graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos

Según el (MOP-001-F-2002, 2002) clasifica según los límites granulométricos a las Bases de la siguiente manera:

TAMIZ	% Pasante de los tamices cuadrados				
	CLASE 1		CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4
	A	B			
2" (50.4 mm)	100	-	-	-	100
1 1/2 (38.1 mm)	70-100	100	-	-	-
1" (25.4 mm)	55-85	70-100	100	-	60-90
3/4" (19.0 mm)	50-80	60-90	70-100	100	-
3/8" (9.5 mm)	35-60	45-75	50-80	-	-
Nº 4 (4.75 mm)	25-50	30-60	35-65	45-80	20-50
Nº 10 (2.00 mm)	20-40	20-50	25-50	30-60	-
Nº 40 (0.425 mm)	10-25	10-25	15-30	20-35	-
Nº 200 (0.075 mm)	2-12	2-12	3-15	3-15	0-15

Tabla 2-7 Granulometrías para bases.

Fuente: MOP-001-F-2002.

2.3.2 BASES CON MATERIALES TRITURADOS

La extracción de materiales va a dar diferentes tamaños de agregado que con dificultad van a cumplir con la graduación sugerida, en el caso de las bases para pavimentos no es excepción, por este motivo es necesaria la combinación de agregados de la forma que se los vende en nuestro medio Ripio y Arena.

En nuestro caso los agregados utilizados son triturados y por granulometría es necesaria una combinación de Ripio y Arena para que puedan ser catalogados como un tipo de base.

El uso de los agregados en las diferentes capas obliga también diferentes requerimientos, como se puede ver el MOP hace referencia a características propias de los agregados que conforman la mezcla como las propiedades ya estudiadas de:

- Granulometría
- Abrasión
- Limpieza
- Forma de la Partícula

A más de estas propiedades de los agregados, la mezcla de los mismos que se denomina como un tipo específico de “base”, posee otras características mecánicas que tienen mucha importancia como:

- Plasticidad
- Soporte CBR

2.3.3 MEZCLA DE AGREGADOS

La finalidad de combinar agregados es obtener un agregado combinado de granulometría aceptable corregido de las deficiencias que tenían los agregados originales.

La determinación de los porcentajes constituyentes dos o más agregados para cumplir la graduación establecida será el problema a solucionar.

Para realizar esta combinación existen muchos métodos, pero uno de los más sencillos es el método por tanteos

Método por tanteos

Se considera a la mezcla compuesta por porcentajes iguales, así por ejemplo para dos agregados será 50 / 50, para tres 33 / 33 / 33.

En el ejemplo vemos:

Tamiz	Mezcla 50 / 50	Requisitos ASTM C33
3/8"	$100 \cdot 0.5 + 100 \cdot 0.5 = 100$	100
No. 4	$100 \cdot 0.5 + 95 \cdot 0.5 = 97.5$	95-100
No. 8	$100 \cdot 0.5 + 55 \cdot 0.5 = 77.5$	80-100
No. 16	$98 \cdot 0.5 + 30 \cdot 0.5 = 64$	50-85
No. 30	$75 \cdot 0.5 + 15 \cdot 0.5 = 45$	25-60
No. 50	$40 \cdot 0.5 + 5 \cdot 0.5 = 22.5$	10-30
No.100	$15 \cdot 0.5 + 1 \cdot 0.5 = 8$	2-10

El tamiz No. 8 no tiene una relación aceptable.

Se cambia al tanteo a una relación más conveniente por ejemplo 60/40, se consigue con esta más arena fina:

Tamiz	Mezcla 60 / 40	Requisitos ASTM C33
$\frac{3}{8}$ "	$100 \times 0.6 + 100 \times 0.4 = \mathbf{100}$	100
No. 4	$100 \times 0.6 + 95 \times 0.4 = \mathbf{98}$	95-100
No. 8	$100 \times 0.6 + 55 \times 0.4 = \mathbf{82}$	80-100
No. 16	$98 \times 0.6 + 30 \times 0.4 = \mathbf{71}$	50-85
No. 30	$75 \times 0.6 + 15 \times 0.4 = \mathbf{51}$	25-60
No. 50	$40 \times 0.6 + 5 \times 0.4 = \mathbf{26}$	10-30
No. 100	$15 \times 0.6 + 1 \times 0.4 = \mathbf{9}$	2-10

Los requisitos de graduación se cumplen con esta relación 60/40, los resultados indican que sólo se podría usar una cantidad muy pequeña más de la arena fina, ya que la cantidad que pasa el tamiz No. 100 se encuentra ya cercano al límite superior.

En caso de no lograrse cumplir con la graduación sugerida se empleará un agregado más a la mezcla.

Para la combinación de agregados ripio y arena por el tamaño máximo de los agregados se realizó tanteos para una Base Estabilizada con Emulsión asfáltica clase B que es muy similar a la Base Granular Clase 1 Tipo B.

Los resultados de la aplicación del método por tanteos se encuentran en las siguientes tablas:

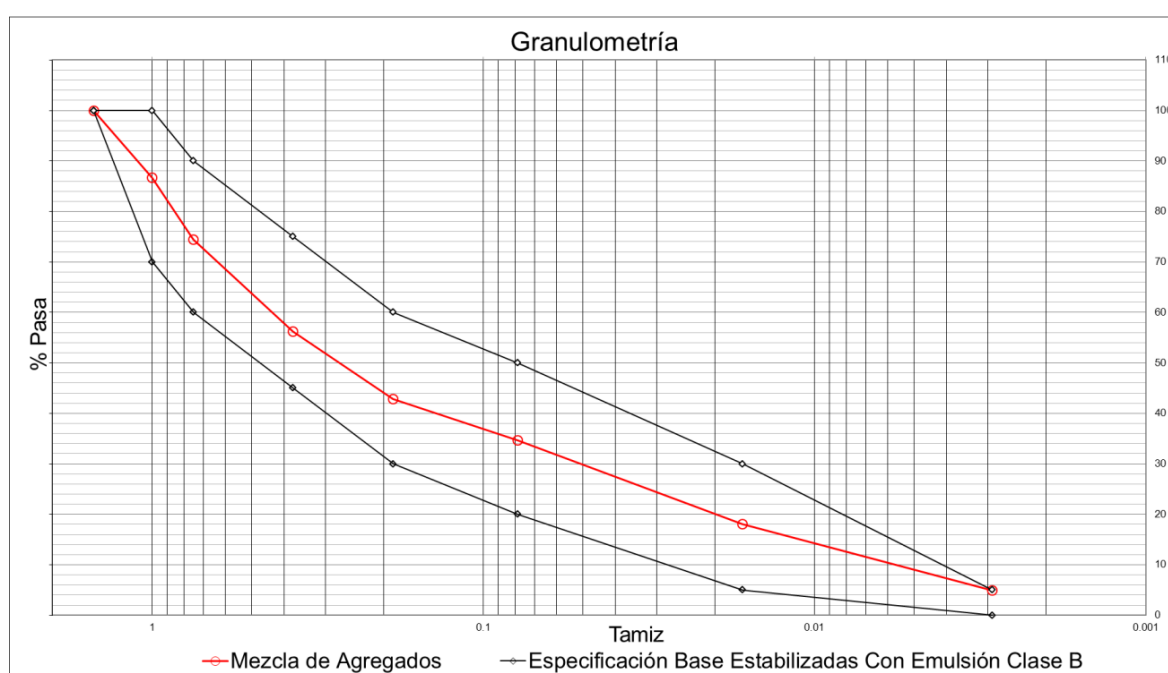
MEZCLA DE AGREGADOS

UBICACIÓN: CORAZÓN

MINA: POMASQUI

USO: BASE CLASE B, ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA		GRADUACION COMBINADA		MEZCLA	ESPECIFICADO		ESPECIFICADO	
	RIPIO	ARENA	60%	40%		CLASE 1 TIPO B		CLASE B	
			RIPIO	ARENA		GRANULAR		ESTABILIZADA	
1 1/2"	100	100	60	40	100	100	100	100	100
1"	78	100	47	40	87	70	100	70	100
3/4"	57	100	34	40	74	60	90	60	90
1/2"	40	100	24	40	64				
3/8"	27	99	16	40	56	45	75	45	75
Nº4	8	95	5	38	43	30	60	30	60
Nº8	8	79	5	32	36	20	50	20	50
Nº10	7	76	4	31	35				
Nº40	5	38	3	15	18	10	25	5	30
Nº200	2	10	1	4	5	2	12	0	5



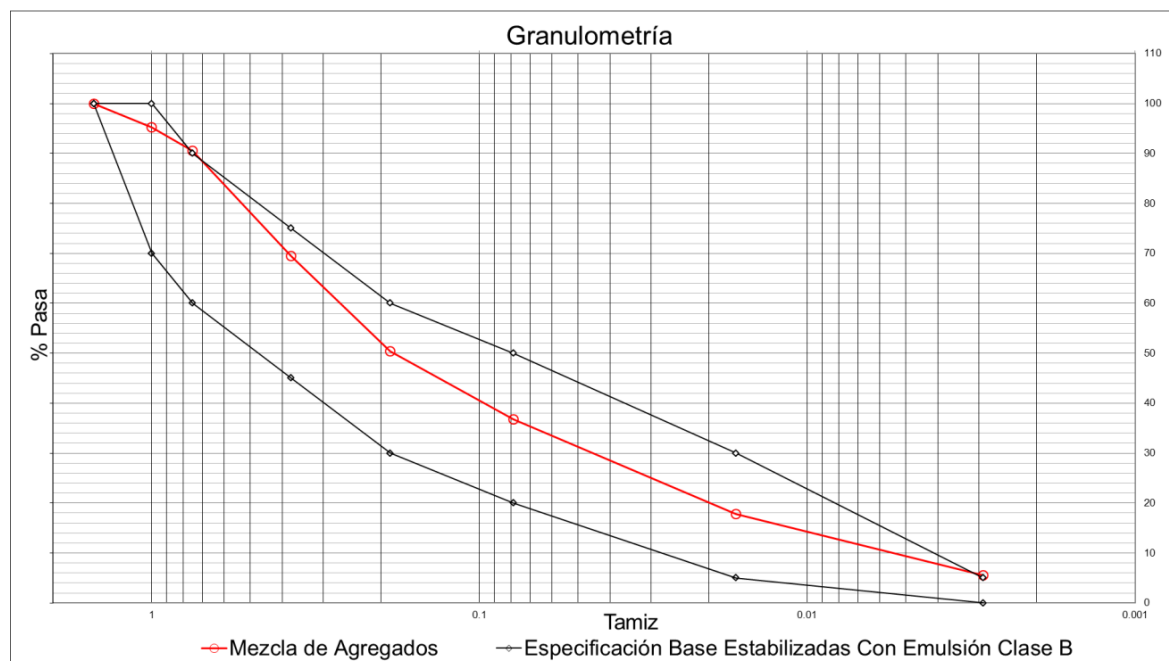
La línea roja corresponde a la granulometría combinada en porcentaje de 60% en ripio y 40% en arena.

UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO

MINA: ROSITA

USO: BASE CLASE B, ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA		GRADUACION COMBINADA		MEZCLA	ESPECIFICADO		ESPECIFICADO	
	RIPIO	ARENA	65%	35%		CLASE 1 TIPO B ESPECIFICADO		CLASE B ESTABILIZADA	
			RIPIO	ARENA					
1 1/2"	100	100	65	35	100	100	100	100	100
1"	93	100	60	35	95	70	100	70	100
3/4"	85	100	55	35	90	60	90	60	90
1/2"	66	100	43	35	78				
3/8"	53	99	35	35	69	45	75	45	75
Nº4	27	93	18	33	50	30	60	30	60
Nº8	19	75	12	26	39	20	50	20	50
Nº10	18	72	11	25	37				
Nº40	9	35	6	12	18	10	25	5	30
Nº200	2	12	1	4	5	2	12	0	5



La línea roja corresponde a la granulometría combinada en porcentaje de 65% en ripio y 35% en arena.

2.3.4 DETERMINACION DEL LÍMITE LÍQUIDO Y EL LÍMITE PLÁSTICO

Plasticidad

Es la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. (AVILA, 2004)

La determinación de esta propiedad se la realiza separando de la mezcla de agregados el material que pasa la malla N° 40. Por este motivo se asume que este material fino se comportaría como un suelo.

Al tratar de definir en términos simples la plasticidad, no resulta suficiente decir que un suelo plástico, puede deformarse y remodelarse sin agrietamiento, pues una arena fina y húmeda tiene esas características cuando la deformación se produce lentamente y, a pesar de ello, no es plástica en un sentido más amplia de la palabra; hay entre el comportamiento de la arcilla y el de la arena en cuestión una importante diferencia: el volumen de la arcilla permanece constante durante la deformación, mientras que el de la arena varía; además, la arena se desmorona en deformación rápida.

Estado de Consistencia.- Límites de Plasticidad.

Según su contenido de agua en forma decreciente, una mezcla de agregados susceptible de ser plástico, puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg:

- 1. Estado Líquido.-** Con las propiedades y apariencias de una suspensión.
- 2. Estado Semilíquido.-** Con las propiedades de un fluido viscoso.
- 3. Estado Plástico.-** El suelo se comporta plásticamente.
- 4. Estado Semisólido.-** El suelo tiene la apariencia de un sólido, disminuye de volumen al someterse al secado.
- 5. Estado Sólido.-** El volumen de la mezcla no o suelo no varía con el secado.

Consistencia de Suelos Amasados

Después que un suelo cohesivo ha sido amasado, su consistencia puede ser variada a voluntad, aumentando o disminuyendo su contenido de humedad. Así, por ejemplo si se reduce lentamente el contenido de humedad de un barro arcilloso líquido, la arcilla pasa gradualmente del estado líquido al estado plástico y finalmente al estado sólido. El contenido de humedad a que se produce el paso de un estado al otro es muy distinto para las diferentes arcillas y por ello dichos contenidos de humedad pueden ser utilizados para identificar y comparar las arcillas entre sí. Sin embargo, la

transición de un estado al otro no ocurre en forma abrupta, tan pronto se alcanza un contenido de humedad crítica, sino en forma muy gradual.

El método que ha resultado más apropiado a los propósitos de los ingenieros, fue tomado de la agronomía y se conoce como el método de Atterberg. Los contenidos de humedad que corresponden a los límites entre los distintos estados de consistencia se conocen también como límites de Atterberg.

Para determinar la consistencia de los suelos se hace uso de los Límites de Atterberg, que separan los estados de consistencia de los suelos.

Estos límites son:

- Límite Líquido,
- Límite Plástico y
- Límite de Contracción.

Límite Líquido

Indica el contenido de humedad en que el suelo pasa del estado plástico al líquido, además revela si el suelo contiene humedad suficiente para superar la fricción y cohesión interna.

Cuando la plasticidad se convirtió en una propiedad índice fundamental, a partir de la utilización que Terzaghi y Casagrande hicieron de ella, la determinación de los límites de plasticidad se transformó en prueba de rutina en todos los laboratorios; en este caso, los métodos de Atterberg se revelaron ambiguos, dado que la influencia del operador es grande y que muchos detalles, al no estar especificados, quedaban a su elección. En vista de lo cual, Terzaghi sugirió a Casagrande la tarea de elaborar un método de prueba para la determinación del límite líquido estandarizando todas sus etapas.

Para situar el material en el límite líquido se utiliza la copa de Casagrande.

El límite líquido se determina conociendo 3 o 4 contenidos de agua diferentes en su vecindad, con los correspondientes números de golpes y trazando la curva Contenido de agua – Número de golpes.

Para la construcción de curva de fluidez sin salirse del intervalo en que puede considerarse recta.

Casagrande recomienda registrar valores entre los 6 y 35 golpes, determinado 6 puntos, tres entre 6 y 15 golpes, y tres entre 23 y 32. La fuerza que compone a la fluencia de los lados de la ranura proviene de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, este material tiene una resistencia mínima al esfuerzo cortante de 25 gr/cm².

El número de golpes requerido para cerrar la ranura es una medida de esa resistencia, al correspondiente contenido de agua.

Límite Plástico

Cuando el suelo pasa de semi-sólido a plástico porque contiene humedad suficiente se dice que ha traspasado su límite plástico. La resistencia del suelo disminuye rápidamente al aumentar el contenido de humedad más allá del límite plástico.

La prueba para la determinación del límite plástico, tal como Atterberg la definió, no especifica el diámetro a que debe llegarse al formar el cilindro de suelo requerido. Terzaghi agregó que el diámetro sea de 3 mm (1/8"). La formación de los rollitos se hace usualmente sobre una hoja de papel totalmente seca, para acelerar la pérdida de humedad del material; también es frecuente efectuar el rolado sobre una placa de vidrio. Cuando los rollitos llegan a los 3 mm, se doblan y presionan, formando una pastilla que vuelve a rolarse, hasta que en los 3 mm justos ocurra el desmoronamiento y agrietamiento; en tal momento se determinará rápidamente su contenido de agua, que es el límite plástico.

Límite de Contracción

Es el contenido de humedad por debajo del cual una pérdida de humedad por evaporación no trae prevista una reducción de volumen. Cuando el contenido de humedad pasa por debajo del límite de contracción el suelo cambia de color, tornándose más claro.

Partiendo de la definición del límite de contracción y para una muestra de suelo saturado podemos decir, que a una pérdida de humedad de volumen ΔV_w corresponde una disminución de volumen de la muestra ΔV de modo que, $\Delta V_w = \Delta V$. Si la muestra sigue perdiendo humedad llegará un momento en que el suelo, a pesar de su pérdida de humedad ya no se contraerá más. El contenido de humedad correspondiente a este límite y que es el límite de contracción se representa en un gráfico, en la que los volúmenes de la muestra contraída partiendo del volumen inicial V se las coloca en las ordenadas, y en las abscisas las pérdidas del volumen de agua partiendo del inicial V_w .

Este límite no es utilizado en el diseño de pavimentos por este motivo no se tomara en cuenta.

El índice plástico

El índice plástico se lo define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Es una medida de la plasticidad del suelo.

OBJETIVO

Determinar en el laboratorio, el Límite Plástico y Límite Líquido de los agregados finos

EQUIPO

1. Dispositivo mecánico (Copa de Casagrande)
2. Papel periódico para secado de muestras
3. Muestras de material a ensayarse
4. Envase de plástico que contiene agua

5. Acanaladores: Tipo ASTM Tipo Casagrande o laminar
6. Franela o esponja
7. Plato para mezclado, de aproximadamente 115 mm de diámetro.
8. Espátula
9. Superficie de rodadura.- Una placa de vidrio esmerilado.
10. Recipientes
11. Balanza
12. Horno capaz de mantener constantemente una temperatura de 110 °C

PROCEDIMIENTO

Para hallar el Límite Líquido

1. Colocamos la muestra en el recipiente metálico y mezclar con la espátula hasta obtener una pasta homogénea y densa que pueda moldearse fácilmente.
2. Con la ayuda de la espátula colocar una porción de la pasta en la Copa de Casagrande sobre la parte que descansa en la base, extendiéndola rápida y cuidadosamente con la espátula, presionando bien para que no quede espacios dentro de la muestra.
3. Con la espátula enraizar la superficie de la muestra de tal manera que tenga una profundidad de 1 cm en la sección de espesor máximo, regresando el suelo sobrante al recipiente metálico.
4. Con el acanalador tipo ASTM realizar un canal en la muestra, de manera que el plano de simetría del canal sea perpendicular a la articulación de la copa y procurando además, que el acanalador se mantenga normal a la superficie de la copa.
5. Girar la manivela a una velocidad constante de 2 golpes/seg, y contar los golpes necesarios para que las dos mitades de muestra se pongan en contacto al fondo del canal en una longitud continua de alrededor de 1 cm, por fluencia de la muestra y no por deslizamiento entre la muestra y la copa.
6. Si el número de golpes para la primera determinación esta entre 25 y 45 golpes, continuar normalmente como se indica los siguientes pasos, si no, añadir agua o secarla al aire, lo que fuera más apropiado y repetir los pasos anteriores hasta que esta condición se obtenga.
7. Regresar el material de la copa al recipiente metálico y mezclar completamente, limpiar y secar la copa y el acanalador y repetir los pasos 2 y 6, hasta que se obtenga dos determinaciones congruentes con diferencia máxima de un golpe.
8. Del lugar donde se juntan los bordes del canal, tomar con la espátula una porción de muestra y colocarlo en el recipiente adecuado para proceder a determinar el contenido de humedad.
9. Para efectuar los distintos ensayos, hacer el amasado de la muestra únicamente mediante el aumento progresivo de agua, de tal manera que cada vez el suelo se torne más fluido.



Fotografía 2-8 Copa de Casagrande y Acanalador

Para hallar el Límite Plástico:

1. Se requiere una cantidad de suelo con una masa aproximada de 20 g que pase el tamiz 0.425 mm (No. 40), obtenido de acuerdo a la norma AASHTO T 87.
2. Colocar al suelo en el plato de mezclado y agregar agua destilada hasta que la masa se vuelva plástica y pueda formarse fácilmente una esfera.
3. Tomar una porción de 1.5 a 2.0 g de la masa de suelo y forme una masa elipsoidal.
4. Ruede la masa del suelo entre la palma de la mano y la placa de vidrio hasta obtener un hilo de diámetro uniforme a una velocidad de 80 a 90 ciclos por minuto. El hilo se irá formando hasta que su diámetro alcance 3 a 3.2 mm, esto no debe tomar más de 2 minutos.



Fotografía 2-9 Determinación del Limite Plástico

CÁLCULOS

Para el contenido de Humedad:

El porcentaje de la humedad de las muestras de suelo se las puede calcular con la siguiente formula:

$$w \% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\%$$

Donde:

w = Contenido de agua, en %

W1 = Peso del recipiente, en gr

W2= Peso del recipiente más material Húmedo, en gr.

W3 = Peso del recipiente más material Seco, en gr

Índice de Plasticidad:

$$Ip = Ll - Lp$$

Donde;

Ll = límite líquido

Lp = límite plástico

RESULTADOS

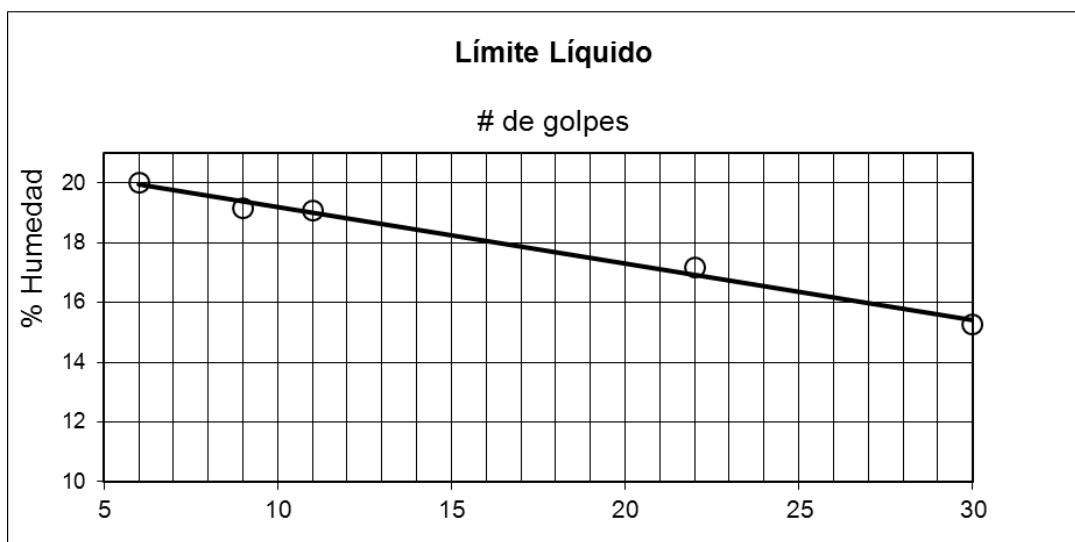
Los resultados de la plasticidad de los agregados que conforman las bases estudiadas se encuentran en las siguientes tablas

UBICACIÓN: POMASQUI

MINA: CORAZÓN

USO: BASE CLASE B, ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

LÍMITE PLÁSTICO NORMA AASHTO-T90				Humedad Natural AASHTO T-255	
Ensayo #	1	2	3	1	2
Tarro #	6.1	6.01	6.03	13	28
P.suelo h+ T	8.27	8	8.14	98.48	98.21
P.suelo S+ T	7.96	7.71	7.86	88.14	88.01
P. Tarro	6	6.03	6.02	31.9	31.8
P. Agua	0.31	0.29	0.28	10.34	10.2
P. Suelo S.	1.96	1.68	1.84	56.24	56.21
Cont. Agua	15.82	17.26	15.22	18.39	18.15
cont. Agua Pr.		16.10		18.27	
	LÍMITE LIQUIDO NORMA AASHTO - T89				
Ensayo #	1	2	3	4	5
Tarro #	27	80	26	28	24
P.suelo h+ T	22.99	30.16	30.58	28.99	29.01
P.suelo S+ T	20.16	26.28	26.65	25.63	25.97
P. Tarro	6.03	6.03	6.03	6.06	6.06
P. Agua	2.83	3.88	3.93	3.36	3.04
P. Suelo S.	14.13	20.25	20.62	19.57	19.91
Cont. Agua	20.03	19.16	19.06	17.17	15.27
# de golpes	6	9	11	22	30



LÍMITE LIQUIDO :	16.4	IP:	NP	IG:	0
LÍMITE PLÁSTICO	16.1				
CLASIFICACIÓN:	A - 3	ARENA FINA			

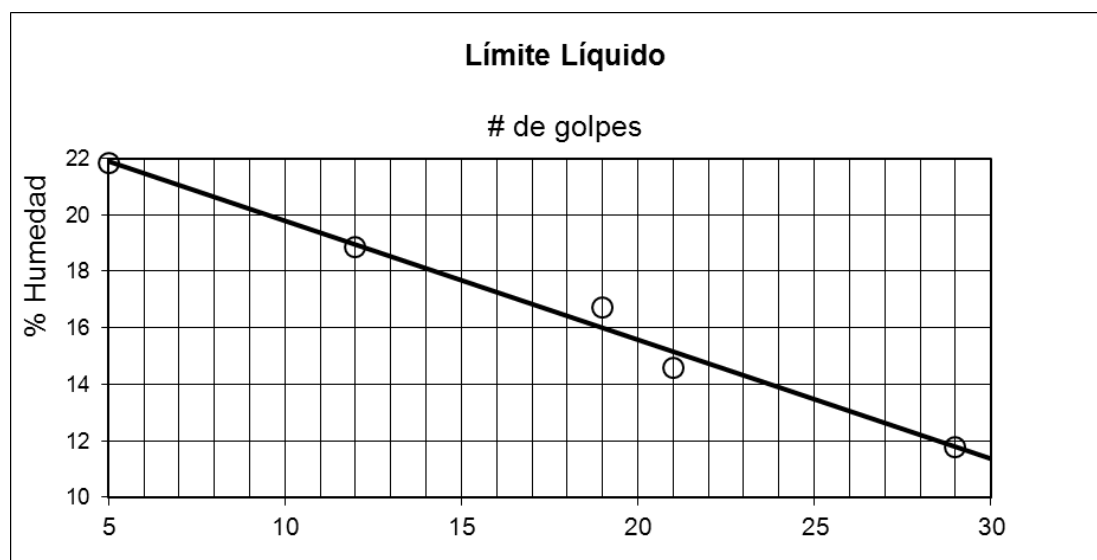
Nota: Los agregados cumplen con las especificaciones requeridas

UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO

MINA: ROSITA

USO: BASE CLASE B, ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

LIMITE PLÁSTICO NORMA AASHTO-T90				Humedad Natural AASHTO T-255	
Ensayo #	1	2	3	1	2
Tarro #	82	115	12	9	14
P.suelo h+ T	7.71	7.53	7.01	87.48	89.54
P.suelo S+ T	7.5	7.37	6.9	79.81	81.58
P. Tarro	6.05	6.09	6.06	31.47	31.38
P. Agua	0.21	0.16	0.11	7.67	7.96
P. Suelo S.	1.45	1.28	0.84	48.34	50.2
Cont. Agua	14.48	12.50	13.10	15.87	15.86
cont. Agua Pr.		13.36		15.86	
	LIMITE LIQUIDO NORMA AASHTO - T89				
Ensayo #	1	2	3	4	5
Tarro #	85	83	29	47	111
P.suelo h+ T	27.43	24	29.98	28.49	28.31
P.suelo S+ T	23.6	21.15	26.55	25.63	25.97
P. Tarro	6.07	6.03	6.01	6.01	6.09
P. Agua	3.83	2.85	3.43	2.86	2.34
P. Suelo S.	17.53	15.12	20.54	19.62	19.88
Cont. Agua	21.85	18.85	16.70	14.58	11.77
# de golpes	5	12	19	21	29



LÍMITE LIQUIDO:	13.5	IP:	NP	IG:	0
LÍMITE PLÁSTICO	13.3				
CLASIFICACIÓN:	A - 3	ARENA FINA			

Nota: Los agregados cumplen con las especificaciones requeridas

2.3.5 ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO (NORMA AASHTO D 180)

Compactación

La relación entre la humedad y la densidad de un suelo o mezcla de materiales compactados como las bases, tienen una gran importancia y siempre se debe controlar que se cumpla en obra evitando grandes variaciones.

Para determinar estas propiedades se desarrolla el ensayo Próctor que lleva el nombre de quien investigo esta relación y quien propuso el procedimiento.

El procedimiento de este ensayo consiste en dejar caer un martillo de 5.5 libras de una altura de 12 pulgadas, sobre una superficie de material conociendo su volumen, una serie de golpes por capas, este procedimiento es conocido como PRÓCTOR NORMAL, luego se lo denominó AASHTO ESTÁNDAR T-99.

Posteriormente la necesidad de obtener mejor respuesta del suelo y mezcla de materiales obligó a que se modifique este ensayo, manteniendo el procedimiento anterior pero modificando el martillo a 10 libras de peso, la altura de caída a 18" y el volumen de los materiales a compactar.

A esta modificación se la conoce como PRÓCTOR MODIFICADO o AASHTO MODIFICADO T-180 usado generalmente en construcción de pavimentos, nos permite determinar la humedad óptima que se puede definir como la humedad ideal en la cual el suelo o la mezcla de materiales alcanza las mejores propiedades mecánicas.

El valor de la humedad óptima depende de la cantidad de energía de compactación a la que se expone el material a compactar. Esta humedad depende directamente de la cantidad de energía de compactación a la que se ha sometido el material; al ser mayor la energía de compactación, la humedad óptima será menor y la densidad seca será mayor.

En el método de compactación Próctor Estándar y Modificado la energía se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$E = \frac{n \times N \times W \times h}{V}$$

En donde:

E= Energía de compactación

n = Número de capas

N= Número de golpes por capa

W= Peso del Martillo

h = Altura de Caída

V = Volumen del molde

Las energías de compactación son las siguientes:

Ensayo Próctor Modificado: $E_e = 27.2 \text{ kg-cm/cm}$

Ensayo Próctor Estándar: $E_e = 6.1 \text{ kg-cm/cm}$

El empleo de una mayor energía de compactación permite alcanzar densidades secas mayores y humedades óptimas menores, esto se comprueba al analizar los resultados obtenidos con las pruebas Próctor Estándar y Próctor Modificado mediante el uso de una curva de compactación.

Para el control de obras viales el MOP propone el uso de Próctor Modificado T-180 debido a la exigencia que presentan los materiales expuestos a los esfuerzos de las cargas vehiculares.

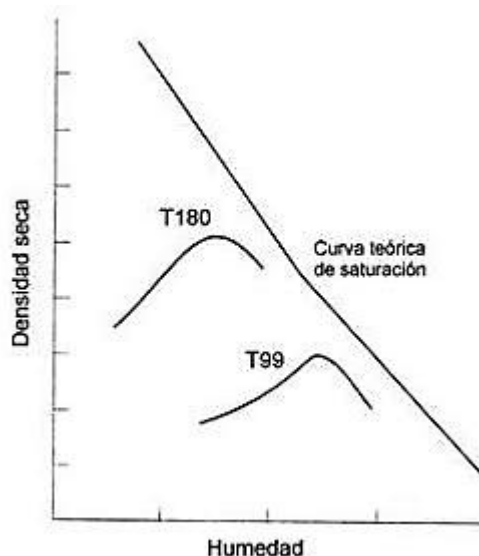


Figura 2-4 Curva de Compactación Densidad Seca = f (Humedad) Próctor

OBJETIVO

Determinar en el laboratorio el contenido óptimo de humedad que permite la mejor compactación de la mezcla de agregados en estudio.

EQUIPO:

1. Tamices N° 4 y $\frac{3}{4}$ pulg.
2. Martillo de cabeza de caucho.
3. Bandeja metálica grande.
4. Balanza de precisión, aproximación 0.1 gr.
5. Probeta graduada, capacidad 250 o 500 cm^3 de volumen.
6. Calibrador, aproximación 0.01 cm.

7. Molde de compactación cilíndrico, metálico. 152.4 mm de diámetro, Con un collar ajustable aproximadamente de 60 mm (2pulg) de altura.
8. Martillo de compactación con peso de 4.536 kg y cae desde una altura de 45.72 cm
9. Utensilio para enrasar (Cuchillo)
10. Bandeja
11. Horno de graduación de temperatura de hasta 110 °C como mínimo

PROCEDIMIENTO

1. Si la muestra de material granular se encuentra húmeda cuando se recibe, se la seca en el horno a una temperatura que no exceda los 60 °C o se seca al aire.
2. Se utiliza material pasante sobre el tamiz N° 3/ 4, el resto se desecha.
3. Si más del 75% de la muestra pasa por el tamiz de N° ¾, se utiliza todo el material para preparar los especímenes de ensayo, si el material retenido por el tamiz N° ¾ es mayor al 25 % se hace un reemplazo por material que pase el tamiz de N° ¾ y es retenido por el tamiz N° 4.
4. Seleccione una muestra representativa, se recomendando muestras de 11 kg o mas.
5. Se mezcla la muestra con agua hasta conseguir una humedad de 4% debajo del óptimo contenido de humedad.
6. Se deja reposando la muestra en un envase hermético por un tiempo mínimo.
7. Se procede a formar un espécimen en el molde de 152.4 mm de la siguiente manera: 5 capas de aproximadamente el mismo espesor y en cada capa se realizara la compactación mediante 56 golpes del martillo dejándolo caer de 457 mm de altura.
8. Luego de la compactación se procede a remover el collarín metálico y se retira el material adherido a este.
9. Se procede a eliminar cuidadosamente el material sobrante del molde metálico, para esto nos valemos de una regla metálica, el material grueso eliminado será reemplazado por material fino que cubrirá los espacios dejados.
10. Se pesa el molde más la muestra en una balanza.
11. Se saca la muestra se toma la humedad actual, luego se la pone en el horno para determinar la humedad en el momento de la compactación.



Fotografía 2-10 Compactación en Molde Metálico

CÁLCULOS

Para el contenido de Humedad:

El porcentaje de la humedad de las muestras de suelo se las puede calcular con la siguiente formula:

$$w \% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\%$$

Donde:

w = Contenido de agua, en %

W1 = Peso del recipiente, en gr

W2= Peso del recipiente más material Húmedo, en gr.

W3 = Peso del recipiente más material Seco, en gr

$$Densidad\ Húmeda\ del\ suelo\ compactado = \frac{Peso\ de\ la\ Muestra}{Volumen}$$

Densidad Seca del suelo compactado

$$= \frac{Densidad\ Húmeda\ del\ suelo\ compactado}{Contenido\ de\ Humedad + 100} \times 100$$

RESULTADOS

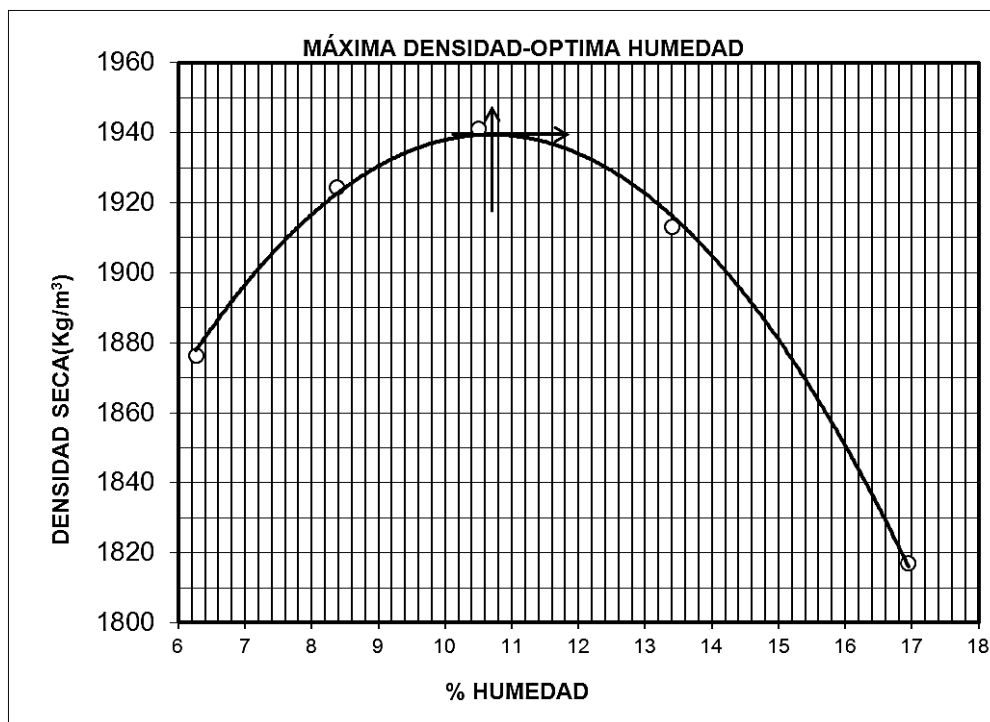
Los resultados del Ensayo Próctor Modificado para la Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica se encuentran en las siguientes tablas.

UBICACIÓN: POMASQUI

MINA: CORAZÓN

USO: BASE CLASE B, ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD (AASHTO T-180)										
# Molde	6		6		6		6		6	
Nº de capas	5		5		5		5		5	
Golpes/capa	56		56		56		56		56	
PSH+Mold.	10,768		10,962		11,088		11,140		11,046	
P Molde	6,545		6,545		6,545		6,545		6,545	
Volum. Molde	2,118		2,118		2,118		2,118		2,118	
Dens. Húmeda	1993.862		2085.458		2144.948		2169.500		2125.118	
# Tarro	4	6	14	34	28	34	5	21	53	68
T+S húmedo	94.35	88.15	98.87	96.72	97.89	94.29	95.59	97.92	82.69	89.45
T+ S Seco	90.67	84.83	93.70	91.65	91.70	88.26	87.98	90.08	75.42	80.99
Peso tarro	32.24	31.51	31.38	31.68	31.80	31.68	31.23	31.56	31.88	31.80
Cont. Agua	6.30	6.23	8.30	8.45	10.33	10.66	13.41	13.40	16.70	17.20
Cont. Prom. Agua	6.26		8.38		10.50		13.40		16.95	
Dens. Seca	1876		1924		1941		1913		1817	



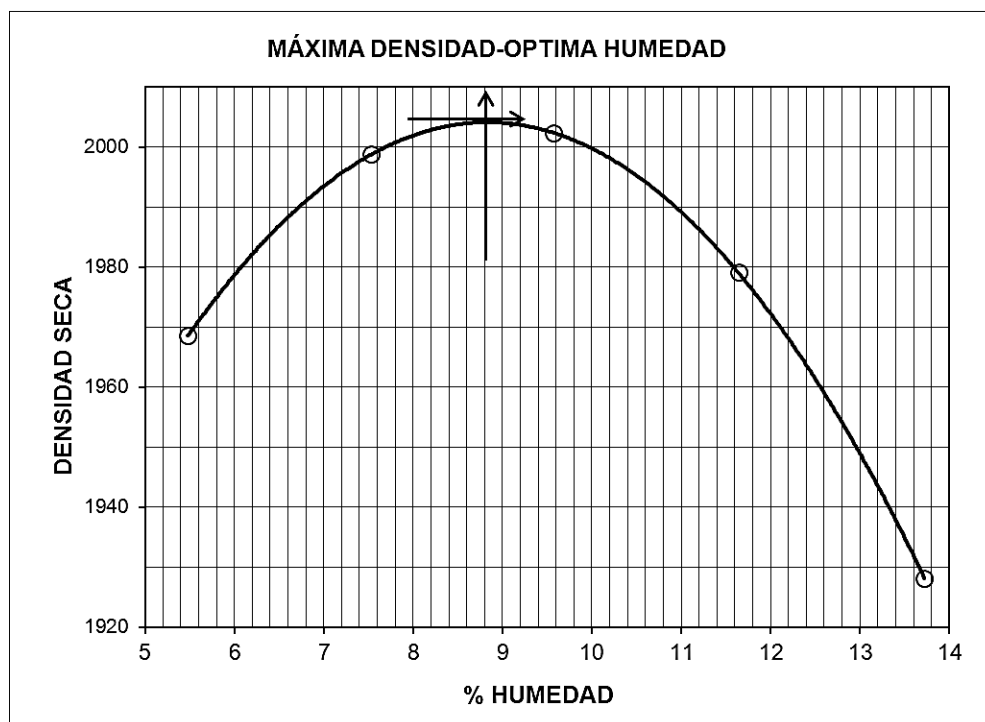
MÁXIMA DENSIDAD SECA:	1,942	Kg/M3
HUMEDAD OPTIMA:	10.75	%

UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO

MINA: ROSITA

USO: BASE CLASE B, ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD (AASHTO T-180)										
# Molde	6		6		6		6		6	
N° de capas	5		5		5		5		5	
Golpes/capa	56		56		56		56		56	
PSH+Mold.	10943		11097		11192		11225		11189	
P Molde	6545		6545		6545		6545		6545	
Volum. Molde	2118		2118		2118		2118		2118	
Dens. Húmeda	2076		2149		2194		2210		2193	
# Tarro	14	34	39	44	5	68	59	6	28	53
T+S húmedo	56.27	69.10	90.65	92.11	66.17	75.51	94.71	97.37	94.30	94.27
T+ S Seco	54.98	67.15	86.52	87.91	63.09	71.72	88.00	90.67	86.77	86.73
Peso tarro	31.38	31.68	31.94	31.85	31.23	31.80	32.00	31.51	31.80	31.88
Cont. Agua	5.47	5.50	7.57	7.49	9.67	9.49	11.98	11.33	13.70	13.75
Cont. Prom. Agua	5.48		7.53		9.58		11.65		13.72	
Dens. Seca	1969		1999		2002		1979		1928	



MÁXIMA DENSIDAD SECA:	2,004 Kg/M3
HUMEDAD OPTIMA:	8.8 %

2.3.6 ENSAYO VALOR DE SOPORTE MODIFICADO CBR (ASTM D 1883)

Hablar de Valor de Soporte de una estructura de pavimento, es hablar de la capacidad de soporte de cargas que poseen las capas que conforman el camino, siendo este un parámetro muy importante para el buen funcionamiento de un camino.

En la actualidad para determinar la capacidad soportante de un camino se utiliza valor que se obtiene a través del CBR (California Bearing Ratio), denominado así debido a que fue en California donde dio origen este ensayo.

La determinación de este ensayo se realiza bajo la norma AASHTO y que consiste en un procedimiento conjunto de penetración e hinchamiento

El hinchamiento de la muestra se registra sometiendo el espécimen en inmersión durante un periodo de 4 días. Se efectúan dos lecturas, una al inicio y una al final; usando un trípode debidamente calibrado. El hinchamiento requiere un cuidado especial en suelos arcillosos o con mucho fino, debido a que pueden provocar asentamientos diferenciales, causales de muchos daños en obras civiles.

El ensayo de penetración tiene por objetivo determinar la capacidad soportante de un suelo o la mezcla de agregados, en analogía el SPT (Standard Penetration Test) empleado en geotecnia. Se basa en la aplicación de una presión creciente efectuada mediante una prensa a la que va acoplado un pistón de área anular sobre una muestra de suelo o mezcla con una humedad óptima de Próctor, en el caso de las Bases Próctor Modificado. La velocidad de penetración de la carga también está normalizada, debiendo ser de 1.27 mm/min. EL tamaño de los moldes a utilizar tendrá un diámetro interno de 152.4 ± 0.7 mm y una altura de 177.8 ± 0.5 mm; deberán tener un collar de extensión metálica de 50.8 mm de altura y una placa base metálica de 9.5 mm de espesor con perforaciones de un diámetro menor o igual a 1.6 mm

El valor de CBR se definió como la relación entre la presión necesaria para que penetre una cierta profundidad y la necesaria para conseguir esa misma penetración en un suelo patrón de grava machacada, expresada en porcentaje.

Comúnmente se toman diversos pares valores presión - penetración, para elaborar una gráfica que represente la tendencia del CBR a medida que varía la profundidad, suele tomarse 0.1" y 0.2", comparándose con los de la muestra patrón.

OBJETIVO

Determinar la relación de soporte de California (CBR) de las bases granulares conformadas con los agregados estudiados, además evaluar la calidad relativa del para su uso como base.

EQUIPO

1. Molde.- Metálico cilíndrico, diámetro interior 6.0 ± 0.026 pulg, altura 7.0 ± 0.018 pulg, provistos de un collar de 2 pulg de altura y un plato base perforado.
2. Disco espaciador

3. Pisón Metálico: Cara plana circular de 2pulg de diámetro, masa de 5.5 0.02 lb y altura de caída libre de 18pulg.
4. Dispositivo para medir la expansión
5. Trípode con deformímetro
6. Pesos de sobrecarga
7. Pistón de penetración.- Cilíndrico metálico diámetro 1.954±0.005 pulg, área 3 pulg², y una longitud no inferior a 4 pulg.
8. Dispositivo de Carga.- Aparato de compresión capaz de aplicar carga creciente uniforme a una razón de 0.05 pulg/min.
9. Tanque de remojo
10. Horno capaz de mantener una temperatura de (110)°C.
11. Recipientes para contenido de humedad

PROCEDIMIENTO

La relación de soporte del óptimo contenido de agua

1. De una muestra que tenga un peso de 35 kg (75 lb) o más, seleccione una porción representativa de una masa aproximada de 11kg (25 lb) para una prueba de humedad - densidad y divida el resto de la muestra para obtener tres porciones representativas que tengan una masa de 6.8kg (15 lb) cada una.
2. Determine la humedad óptima y la densidad seca máxima por medio del ensayo (AASHTO T-180).
3. Determine la humedad natural como lo establece la norma AASHTO T-265. Añada agua necesaria para llegar a la humedad óptima.
4. Compactar tres especímenes, para que sus densidades compactadas vayan desde 95 % o más baja a 100 % ó más alta de la densidad seca máxima determinada.
5. Empalme el molde a la base del plato y pese.
6. Inserte el disco espaciador dentro del molde y coloque un papel filtro en la parte superior del disco.
7. Mezcle cada una de las tres porciones de 6.8 kg (15 lb) ya preparadas con suficiente agua para obtener el contenido de humedad óptimo. Se obtiene el contenido de humedad óptimo por la siguiente formula:

$$\% \text{ de agua añadida} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

H = Humedad prefijada

H= Humedad natural

8. Compacte en cinco capas iguales si la densidad máxima fue determinada por la norma AASHTO T180.

9. Compactando cada capa con 65, 30 y 10 (AASHTO) o con 56, 25 Y 10 (ASTM).
10. Determinar el contenido de humedad del material compactado, al inicio y fin de la compactación (dos muestras). La determinación del contenido de humedad será de acuerdo con la norma AASHTO T 265.
11. Quitar el collar y usando un enrazador recorte el suelo compactado en la parte superior del molde.
12. Las irregularidades de la superficie deben ser rellenados con material más pequeño.
13. Quitar el disco espaciador, colocar un papel filtro en el plato base perforado e invierta el molde. Sujete el plato base perforado al molde y coloque el collar.
14. Determine la masa del molde y el espécimen con una aproximación de 5 gr ó 0.01 lb.
15. Compacte las otras dos porciones de 6.8 kg ó 15 lb. Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente, excepto por el número intermedio de golpes por capa que debe ser usado para compactar el segundo espécimen y el número más alto de golpes por capa que debe ser usado para compactar el tercer espécimen.



Fotografía 2-11 Muestra compactada en Ensayo CBR con deformímetro

Remojo o saturación

1. Colocar sobre la superficie de la muestra en el molde la placa perforada con vástago y sobre ésta los pesos anulares suficientes para originar una sobrecarga equivalente a la originada por las capas de materiales que van sobre el material que se está probando.
2. Colocar el trípode con el dial encima del molde y haga una lectura inicial.
3. Sumerja al molde en agua.

4. Durante el remojo, mantener el nivel de agua 1pulg sobre la parte superior del espécimen. Registre lecturas cada 24 horas por un periodo de 96 horas (4 días), se toman y se registran lecturas en el dial.
5. Al final de las 96 horas, haga una lectura del dial final en los especímenes empapados
6. Calcule la hinchazón como un porcentaje de la longitud de la muestra inicial con la siguiente expresión:

$$\text{Aumento \%} = \frac{\text{Cambio de longiutud (mm) durante remojo}}{127 \text{ mm}} \times 100$$

Drenaje

1. Después de saturada la muestra durante los 4 días, quitar los moldes cuidadosamente del tanque de remojo, vierta el agua retenida en la parte superior del mismo y se deja escurrir el molde durante 15 minutos.
2. Retire los pesos de la sobrecarga y plato.
3. Registre el peso del molde más suelo después de la saturación (96 horas o 4 días).

Prueba de Penetración

1. Aplicar una sobrecarga de pesas anular y cortada, igual a las usadas durante el remojo.
2. Coloque el pistón de penetración, aplique una carga de 44N (10 lb).
3. Poner ambos diales el de penetración y el de carga en cero.
4. Aplique la carga sobre el pistón de penetración, con una velocidad de penetración uniforme de 0.05pulg/min. De acuerdo a la tabla siguiente tabla

PENETRACIÓN

Milímetros	Pulgadas
0.63	0.25
1.27	0.05
1.90	0.075
2.54	0.1
3.81	0.15
5.08	0.2
7.62	0.3
10.16	0.4
12.70	0.5

Tabla 2-8 Penetración utilizada en el ensayo de CBR.

Fuente: ASTM D 1883

5. Se registra la carga en cada uno de los valores establecidos en la tabla anterior

CÁLCULOS

Curva de deformaciones

Trazar la curva de deformaciones (resistencia a la penetración vs profundidad de penetración) para cada espécimen. Si las curvas son semejantes a la del ensayo N° 1 no necesitan correcciones. Si las curvas son semejantes a las correspondientes a los de la curva N°2 y N°3, deberán ser corregidas trazando tangentes en la forma como se indica las gráficas.

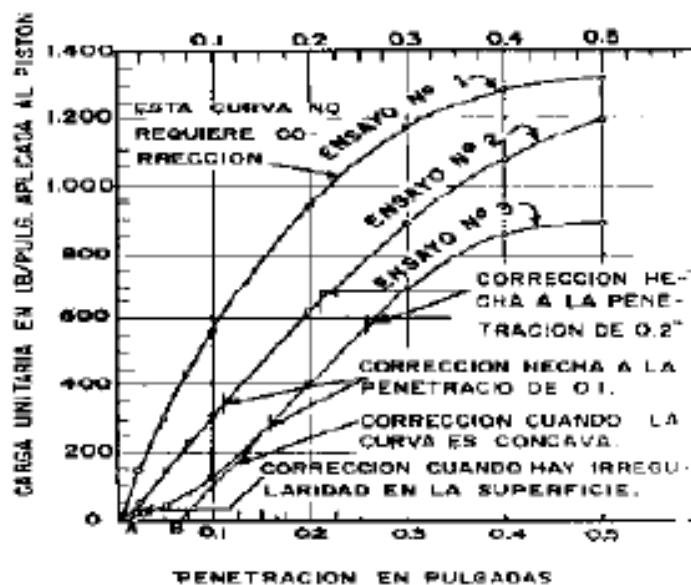


Figura 2-5 Ejemplos de curvas obtenidas en el ensayo de CBR.

Cargas normales

Los valores de carga normal o carga unitaria patrón para 0.1" y 0.2" de penetración son los siguientes:

PENETRACIÓN	Lb/pulg ²	Kg/cm ²
0.1	1000	70
0.2	1500	105
0.3	1900	133
0.4	2300	161
0.5	2600	182

Relación de soporte de California (CBR)

Los valores de carga corregidos se determina para cada espécimen a 0.10 pulg y 0.20 pulg de penetración. El CBR es obtenido en porcentaje, dividiendo los valores de carga corregidos a 0.10 pulg y 0.20 pulg para las cargas normales de (1000 psi y 1500 psi) respectivamente y multiplicando estas por 100.

$$CBR\ 0.1\ " = \frac{\text{Presión de Penetración para } 0.1\ "}{\text{Carga Unitaria Patrón para } 0.1\ " \text{ de penetración}} \times 100$$

$$CBR\ 0.2\ " = \frac{\text{Presión de Penetración para } 0.2\ "}{\text{Carga Unitaria Patrón para } 0.2\ " \text{ de penetración}} \times 100$$

El CBR es generalmente seleccionado a 0.10pulg de penetración. Si la relación a 0.20 pulg de penetración es mayor a la penetración de 0.1 pulg la prueba será realizada otra vez. Si la prueba de chequeo da un resultado similar a la relación 0.20 pulg de penetración se usará esta.

Diseño CBR para un solo contenido de agua

Usando los datos obtenidos de los tres especímenes, trace la gráfica CBR vs Densidad Seca. El diseño de CBR puede determinarse al porcentaje deseado de la densidad seca máxima.

Diseño CBR para el rango de contenido de agua.- Trace los datos de la prueba a los tres esfuerzos compactados.

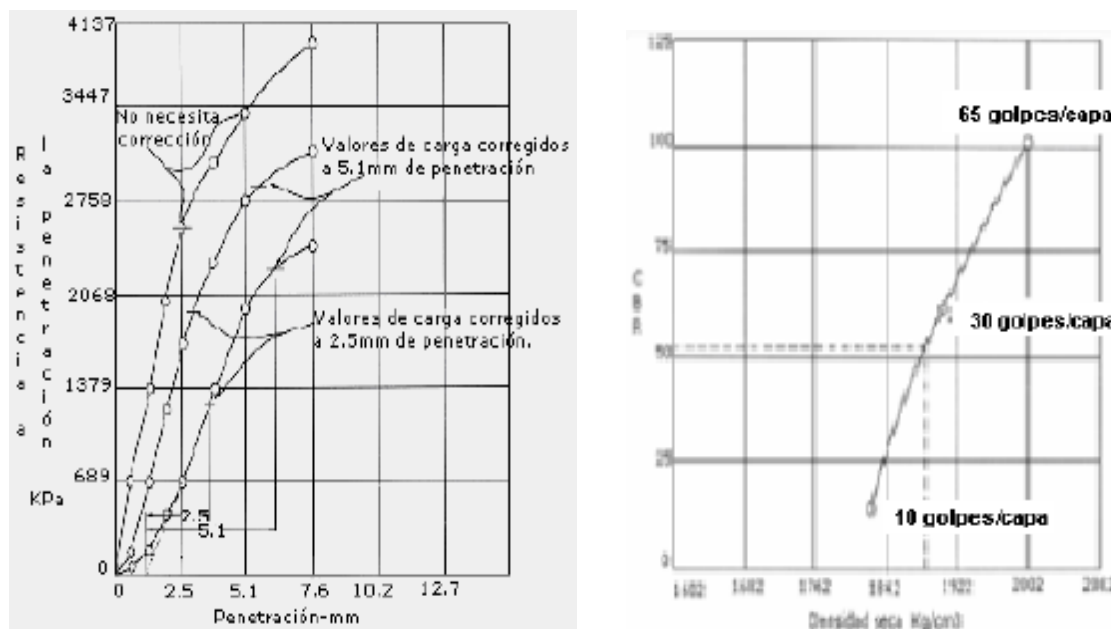


Figura 2-6 Ejemplos de Curvas CBR resistencia vs Penetración; y CBR vs densidad

RESULTADO

Los resultados del Ensayo CBR para la Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica se encuentran en las siguientes tablas

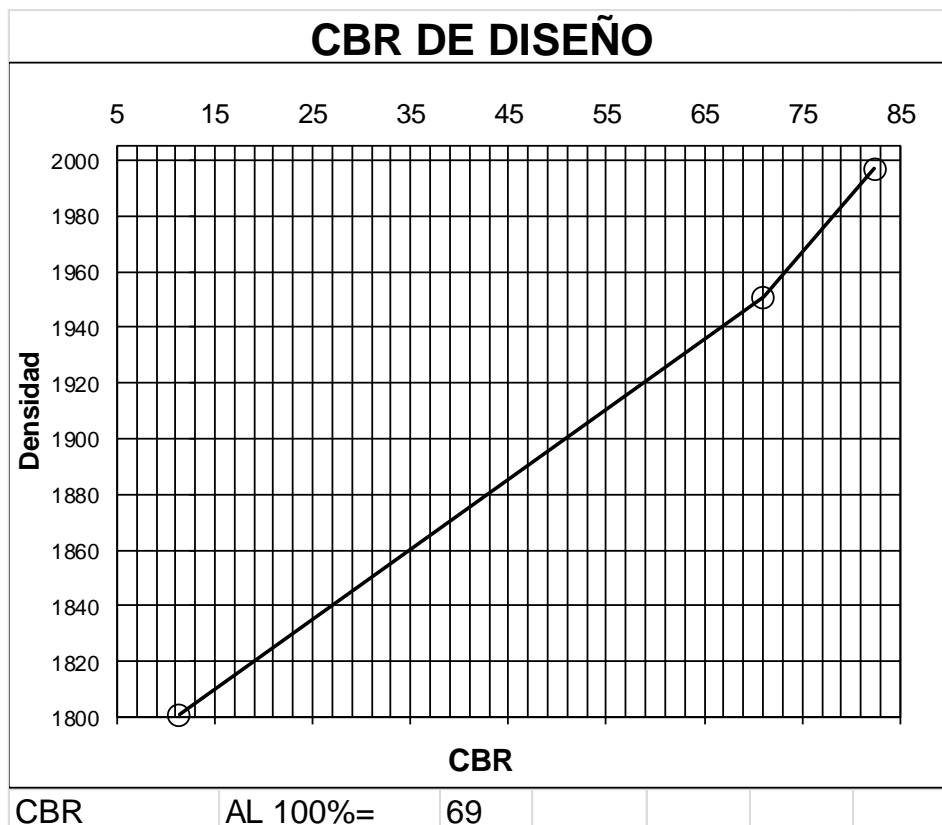
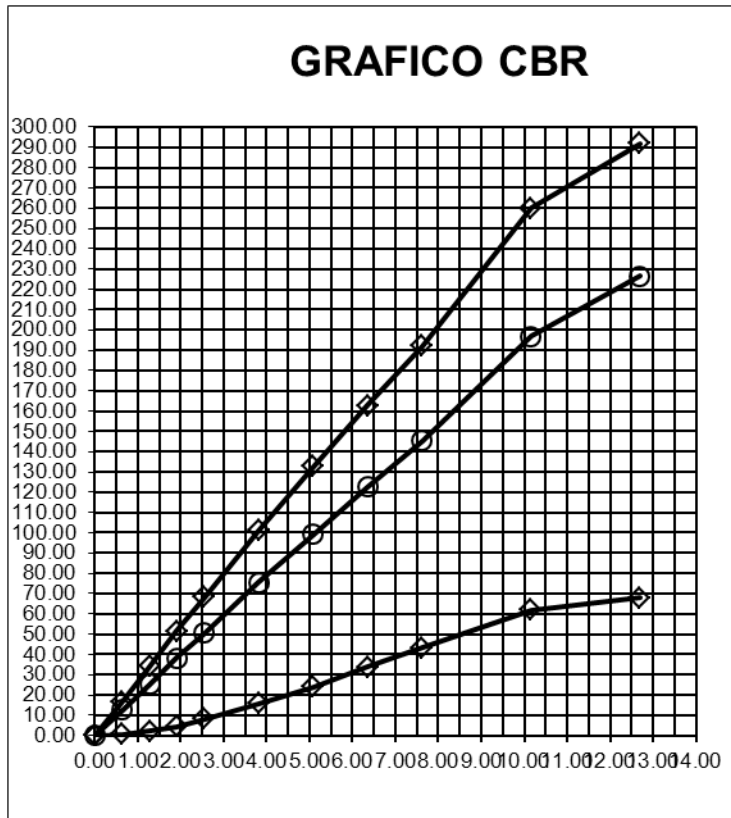
UBICACIÓN: POMASQUI

MINA: CORAZÓN

USO: BASE CLASE B, ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

ENSAYO C. B. R.												
Molde N°	20				21				22			
N° de capas	5				5				5			
Golpes por capa	61				27				11			
REMOJO	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
Peso muestra húmeda + molde	12459	12374	12393	12405	12328	12433						
Peso del molde	7315	7315	7360	7360	7642	7642						
Peso muestra húmeda	5144	5059	5033	5045	4686	4791						
Volumen de la muestra	2344	2344	2344	2344	2362	2362						
Densidad Húmeda	2.195	2.158	2.147	2.152	1.984	2.028						
Densidad seca	1.997	1.941	1.951	1.925	1.801	1.802						
CONTENIDO DE AGUA												
Tarro N°	26	6	29	21	4	39	4	3	13	73	2	44
Peso muestra húmeda + tarro	75.36	79.46	113.1	112.8	67.78	65.48	106.4	91.26	60.45	75.27	82.45	95.6
Peso muestra seca + tarro	71.45	75.13	104.8	104.7	64.54	62.41	98.59	85	57.81	71.27	76.77	88.58
Peso agua	3.91	4.33	8.26	8.13	3.24	3.07	7.85	6.26	2.64	4	5.68	7.02
Peso tarro	31.73	31.51	31.76	31.56	32.24	31.94	32.24	31.79	31.9	31.93	32.46	31.8
Peso muestra seca	39.72	43.62	73.06	73.14	32.3	30.47	66.35	53.21	25.91	39.34	44.31	56.78
Contenido de humedad	9.84	9.93	11.31	11.12	10.03	10.08	11.83	11.76	10.19	10.17	12.82	12.36
Humedad promedio	9.89		11.21		10.05		11.80		10.18		12.59	
Agua absorbida			1.33				1.74				2.41	
Máxima densidad	1.942						Agua Añadida		604 cm3			
Optima Humedad	10.75 %											
Humedad inicial	1.20 %											

DATOS DE ESPONJAMIENTO													
Mes	hora	tiempo	molde # 20			molde # 21			molde # 22				
y		transc.	L. Dial	H. Mues.	esponjamiento	L. Dial	H. Mues.	esponjamiento	L. Dial	H. Mues.	esponjamiento		
Día		días	mm	mm	%	mm	mm	%	mm	mm	%		
25/07/2012	11:00	0	37.00	127.5	0	35.00	127.5	0	38.00	128.5	0		
26/07/2012	11:00	1	37.86		0.66	35.88		0.68	38.87		0.68		
27/07/2012	11:00	2	37.86		0.66	35.88		0.68	38.87		0.68		
28/07/2012	11:00	3	37.86		0.66	35.88		0.68	38.87		0.68		
PENETRACIÓN													
Tiempo	Penetr.	carga	molde # 20			molde # 21			molde # 22				
		estand.	carga	presión	valor	carga	presión	valor	carga	presión	valor		
min:seg	mm	Kg/cm2	dial	Kg/cm2	CBR.	dial	Kg/cm2	CBR.	dial	Kg/cm2	CBR.		
0:00	0.000		0	0.0		0	0.0		0	0.0			
0:30	0.635		28.0	16.9		20.8	12.5		1.0	0.6			
1:00	1,270		56.9	34.3		42.2	25.4		3.5	2.1			
1:30	1,905		85.6	51.5		63.5	38.2		7.5	4.5			
2:00	2,540	70.4	113.3	68.2	82	84.2	50.7	71	13.5	8.1	11		
3:00	3,810		167.8	101.0		125.2	75.4		26.0	15.7			
4:00	5,080	105.6	220.2	132.6		165.0	99.3		40.0	24.1			
5:00	6,350		270.2	162.7		203.8	122.7		56.0	33.7			
6:00	7,620	133.8	319.2	192.2		241.5	145.4		72.0	43.4			
8:00	10,160	161.9	431.8	260.0		327.0	196.9		103.0	62.0			
10:00	12,700	183.0	485.0	292.0		376.0	226.4		113.0	68.0			



UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO

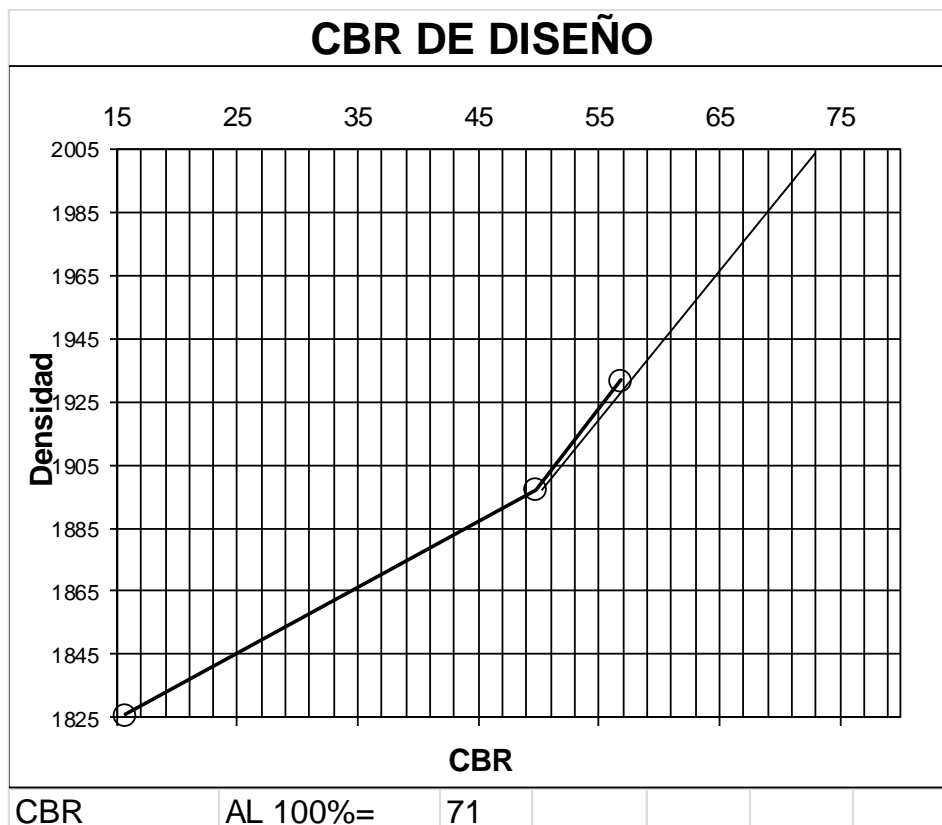
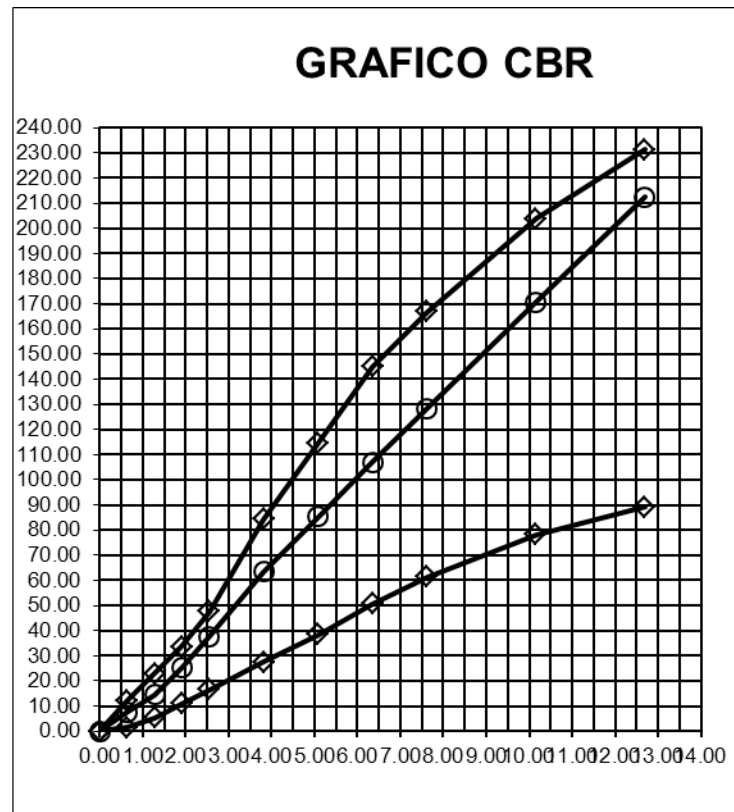
MINA: ROSITA

AGREGADO: BASE CLASE B, ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

ENSAYO C. B. R.												
Molde N°	23				24				25			
N° de capas	5				5				5			
Golpes por capa	61				27				11			
REMOJO	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
Peso muestra húmeda + molde	12327	12437	12225	12310	12032	12228						
Peso del molde	7281	7281	7300	7300	7443	7443						
Peso muestra húmeda	5046	5156	4925	5010	4589	4785						
Volumen de la muestra	2381	2381	2362	2362	2286	2286						
Densidad Húmeda	2.119	2.165	2.085	2.121	2.007	2.093						
Densidad seca	1.932	1.942	1.897	1.889	1.826	1.848						
CONTENIDO DE AGUA												
Tarro N°	21	10	13	63	55	29	39	5	63	72	68	74
Peso muestra húmeda + tarro	59.8	79.3	91.12	88.72	60.52	72.06	120.7	97.89	70.08	74.95	64.71	84.5
Peso muestra seca + tarro	57.31	75.08	85	82.86	57.94	68.43	110.9	90.59	66.68	70.97	60.9	78.22
Peso agua	2.49	4.22	6.12	5.86	2.58	3.63	9.73	7.3	3.4	3.98	3.81	6.28
Peso tarro	31.56	31.64	31.56	31.94	31.92	31.76	31.94	31.23	31.91	31.65	31.8	31.64
Peso muestra seca	25.75	43.44	53.44	50.92	26.02	36.67	79	59.36	34.77	39.32	29.1	46.58
Contenido de humedad	9.67	9.71	11.45	11.51	9.92	9.90	12.32	12.30	9.78	10.12	13.09	13.48
Humedad promedio	9.69		11.48		9.91		12.31		9.95		13.29	
Agua absorbida			1.79				2.40				3.34	
Máxima densidad	2,004						Agua Añadida		475	cm3		
Optima Humedad	8.8	%										
Humedad inicial	0.89	%										

DATOS DE ESPONJAMIENTO														
Mes	hora	tiempo trans.	L. Dial	H. Mues.	molde #	esponjamiento	L. Dial	H. Mues.	molde #	esponjamiento	L. Dial	H. Mues.	molde #	esponjamiento
y		días	mm	mm		%	mm	mm		%	mm	mm		%
Día														
25/07/2012	11:00	0	39.00	129.5		0	45.00	128.5		0	35.00	128.5		0
26/07/2012	11:00	1	39.02		0.02	0.02	45.03			0.03	35.52		0.52	0.40
27/07/2012	11:00	2	39.02		0.02	0.02	45.04			0.04	35.55		0.55	0.43
28/07/2012	11:00	3	39.02		0.02	0.02	45.04			0.04	35.58		0.58	0.45

PENETRACIÓN														
Tiempo	Penetr.	carga estand.	carga dial	presión	molde #	valor CBR.	carga dial	presión	molde #	valor CBR.	carga dial	presión	molde #	valor CBR.
min:seg	mm	Kg/cm2		Kg/cm2		%		Kg/cm2		%		Kg/cm2		%
0:00	0,000		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0:30	0,635		20.4	12.3			12.4	7.5			2.5	1.5		
1:00	1,270		38.1	22.9			24.2	14.6			9.0	5.4		
1:30	1,905		55.6	33.5			42.0	25.3			18.0	10.8		
2:00	2,540	70.4	79.0	47.6	40.0	57	62.4	37.6	35.0	50	27.5	16.6	11.0	16
3:00	3,810		140.1	84.4			105.2	63.4			45.5	27.4		
4:00	5,080	105.6	190.3	114.6			141.7	85.3			64.0	38.5		
5:00	6,350		240.7	144.9			177.7	107.0			84.0	50.6		
6:00	7,620	133.8	277.1	166.9			213.3	128.4			102.0	61.4		
8:00	10,160	161.9	338.4	203.7			283.3	170.6			130.0	78.3		
10:00	12,700	183.0	384.0	231.2			353.0	212.5			148.0	89.1		



2.3.7 BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS

El mejoramiento de materiales granulares mediante la estabilización con emulsión asfáltica permite la utilización de materiales deficientes que no cumplen con las condiciones propuestas por las normas, para esto se propone algunos requerimientos que permitan la aplicación de esta técnica.

El MOP sugiere los mismos requerimientos que son empleados para las bases granulares

- Granulometría
- Abrasión
- Limpieza
- Forma de la Partícula
- Plasticidad

El porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados será menos del 40% según la Norma INEN 860.

El equivalente de arena se realizará en los agregados pasantes por el tamiz INEN 4.75 mm. Tendrá un valor mínimo de 35% según Norma ASTM D2419.

La porción de agregados que pasa el tamiz INEN 0.425 mm (No 40), deberá tener un índice de plasticidad menor a 4, según lo establecido en las normas INEN 691 y 692.

El máximo porcentaje en peso de partículas alargadas y achatadas retenidas en el tamiz INEN 4.75 mm cuya relación entre las dimensiones máximas y mínimas mayores que 5, no deberá ser mayor de un 10% según la Norma ASTM D 4791.

Los agregados gruesos retenidos en el tamiz INEN 4.75 mm deben tener cierta angularidad, debiendo contener al menos el 75% en peso de elementos triturados que contengan dos o más caras fracturadas según la Norma ASTM D 5821.

La granulometría se hallará entre los límites de cualquiera de los tipos A, B, y C indicados en la siguiente tabla:

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	A	B	C
2" (50.8 mm.)	100	—	—
1 1/2" (38.1 mm.)	70-100	100	—
1" (25.4 mm.)	55-85	70-100	100
3/4" (19.0 mm.)	50-80	60-90	70- 100
3/8" (9.5 mm.)	40-70	45-75	50-80
N° 4 (4.75 mm.)	30-60	30-60	35-65
N° 10 (2.00 mm.)	20-50	20-50	25-50
N° 40 (0.425 mm.)	5-30	5-30	10-30
N° 200 (0.075 mm.)	0-5	0-5	0-5

Tabla 2-9 Granulometría Bases Estabilizadas con Emulsión Asfáltica

Fuente: MOP-001-F-2002.

CAPÍTULO III

3 EMULSIONES ASFÁLTICAS Y USO EN BASES

En el presente capítulo se ha tomado como referencia los conceptos del Manual Básico de Emulsiones MS 19 (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001)

CONCEPTO Y ESTRUCTURA QUÍMICA

3.1.1 CONCEPTO

Desde el punto de vista físico – químico, de una manera muy general una emulsión es una dispersión de un líquido en otro este último debe ser inmisible.

Por dicho anteriormente una emulsión asfáltica es una dispersión de micro partículas de cemento asfáltico en una matriz acuosa estabilizada.

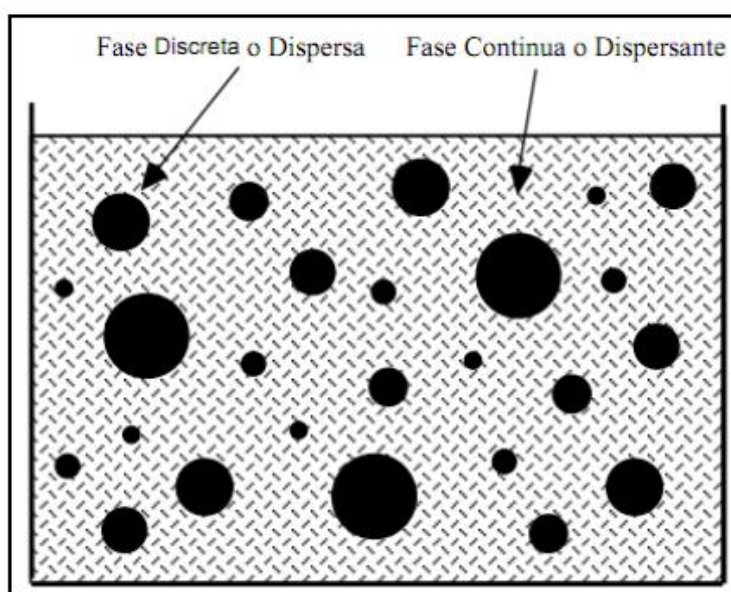


Figura 3-1 Diagrama Esquemático de una Emulsión (INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE)

Existen dos tipos de emulsiones según la fase dispersa y dispersante, de la siguiente manera:

- **Emulsión Directa**

Una emulsión es directa cuando la fase dispersa es hidrocarbonada y la fase dispersante es agua

- **Emulsión Inversa**

Una emulsión es inversa cuando la fase dispersa es acuosa y la fase dispersante un asfalto de petróleo.

Las emulsiones tienen tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsificante. El agente emulsificante puede contener un estabilizador.

La finalidad de fabricar emulsiones es conseguir una dispersión de cemento asfáltico en el agua, esta emulsión debe ser estable para facilitar su manipulación en actividades de bombeo, almacenamiento prolongado y mezclado.

Las emulsiones deben garantizar su rompimiento después del contacto con agregados al momento de la mezcla o después de un riego sobre una superficie.

Después del rompimiento de la emulsión asfáltica, sufrirá su curado, aquí quedará solamente el asfalto residual, este asfalto mantiene las características de adhesividad, durabilidad y resistencia al agua del cemento asfáltico puro empleado para la fabricación de la emulsión.

3.1.2 ESTRUCTURA QUÍMICA

Clasificación y Nomenclatura

Por el tipo de emulsificante las emulsiones se clasifican en tres grupos:

- Aniónica
- Catiónicas
- No iónicas

En la construcción y mantenimiento vial se utilizan las dos primeras, la última puede ser utilizada a futuro.

Las clases Aniónica y Catiónica se refieren a las cargas eléctricas que rodean las partículas de asfalto.

La identificación se deriva del sistema de leyes básicas de electricidad – cargas, cargas de igual signo se repelen y de diferente signo se atraen. Cuando se carga dos polos cátodo y ánodo (positivo y negativo), se sumergen en un líquido a través del cual se pasa una corriente eléctrica, el ánodo se carga de forma positiva y el cátodo de forma negativa. Si se pasa una corriente a través de la emulsión que contiene partículas de asfalto negativamente cargadas estas migran al ánodo. La emulsión en este caso se llama aniónica. En caso inverso serán emulsiones catiónicas. Las emulsiones no iónicas tienen partículas de asfalto neutras y no migran a ningún polo.

Las emulsiones puede clasificarse según la velocidad de rotura, que es la velocidad que la emulsión vuelve a ser cemento asfáltico.

Por facilidad se utilizan letras de la velocidad en idioma inglés, los términos que significan Rotura rápida RS (Rapid Setting), Rotura Media MS (Medium Setting) y Rotura lenta SS (Slow Setting).

La rotura es una propiedad propia de cada emulsión que puede facilitar el mezclado. Una emulsión RS tiene mínima o carece de habilidad para mezclarse con un agregado, una emulsión MS se espera que se mezcle con agregados gruesos pero no finos y una emulsión SS permite la mezcla con agregados finos.

Las emulsiones se subdividen adicionalmente mediante la incorporación de números que indican la viscosidad y la dureza de los cementos asfálticos utilizados como bases. Se incorpora la letra “C” anterior al tipo de emulsión que significa que esta emulsión es catiónica, la ausencia significa que es aniónica o no iónica.

Las normas ASTM adicionan tres grados de emulsión aniónica de alta flotación y rotura media, se denomina HFMS. Estos grados tienen su uso en mezclas en planta frías y calientes, riegos de sellado de agregados gruesos y mezclas en vía. Las emulsiones de alta flotación tienen una cualidad especial la formación de películas de cubrimiento más gruesas sin riesgos de escurrimiento. Para condiciones especiales se desarrolló un tipo de emulsión de rotura veloz QS (Quick Setting) para las lechadas asfálticas, el uso de estas va en crecimiento por dar solución a los problemas relacionados con el uso de lechadas.

Emulsiones Asfálticas Aniónicas (ASTM D977, AASHTO M140)	Emulsiones Asfálticas Catiónicas (ASTM D2397, AASHTO M208)
RS-1 (RR-1)	CRS-1 (CRR-1)
RS-2	CRS-2
HFRS-2	-
MS-1 (RM-1)	-
MS-2	CMS-2 (CRM-2)
MS-2h	-
HFMS-1	-
HFMS-2	-
HFMS-2h	-
HFMS-2s	-
SS-1 (RL-1)	CSS-1 (CRL-1)
SS-1h	CSS-1h

Tabla 3-1 Clasificación de las emulsiones asfálticas.

3.2 COMPOSICIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Las emulsiones asfálticas tienen los siguientes componentes básicos:

- Cemento Asfáltico
- Solución Jabonosa

A su vez la solución jabonosa está compuesta por:

- Agua
- Agente emulsificante.

3.2.1 CEMENTO ASFÁLTICO

Proveniencia del Asfalto

El asfalto es el elemento básico en la preparación de la emulsión, representado por el cemento asfáltico, el cual constituye entre un 50 y un 75% de la emulsión. Algunas de sus propiedades afectan significativamente la emulsión final, sin embargo, no existe una correlación exacta entre las propiedades del asfalto y la facilidad con que el asfalto pueda ser emulsionado.

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la dispersa (BRACHO, 2005). El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por los asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada maltenos.

Las resinas contenidas en los maltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los insolubles asfáltenos.

Los maltenos y asfaltenos existen flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites.

ASFALTENOS	MALTENOS
Compuestos Polares Hidrocarburos Aromáticos Peso molecular mayor 1.000 Precipitan como sustancias oscuras por dilución con parafinas de bajo punto de ebullición (pentano-heptano)	Compuestos No polares Hidrocarburos Alifáticos más Nafténicos y Aromáticos Peso molecular hasta 1.000 Medio continuo

Tabla 3-2 Cuadro comparativo entre los componentes del asfalto

Fuente: BRACHO; 2005

Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 % de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto, a veces casi en su totalidad. Sin embargo, existen algunos crudos, que no contienen asfalto.

En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en:

- Petróleos crudos de base asfáltica.
- Petróleos crudos de base parafínica.

Tipos de Asfaltos

Los asfaltos de pavimentación se obtienen por reducción directa y progresiva de los residuos derivados de la destilación de los petróleos crudos, o por precipitación de los asfaltenos mediante solvente especiales. Estos asfaltos se utilizan en la pavimentación de carreteras y en pistas de aterrizaje de aeropuertos. Las características de los asfaltos obtenidos por destilación al vacío y por precipitación o extracción con solventes son aproximadamente las mismas.

Los asfaltos de impermeabilización, o asfaltos oxidados se producen al hacer burbujear aire a través del asfalto calentado entre 200 y 300 °C.

Los asfaltos diluidos son aquellos que se obtienen por dilución, en línea, de los asfaltos de penetración en caliente con un solvente adecuado.

La mezcla con solventes evita el calentamiento excesivo que debe proporcionarse a un asfalto de pavimentación para proporcionar la fluidez necesaria en las operaciones de cubrimiento. Por este motivo, se suelen diferenciar las operaciones de asfalto en caliente de las de asfalto en frío (cuando se utilizan asfalto diluidos o rebajados).

A los asfaltos diluidos se les clasifica de acuerdo al tipo de solvente que se utilice en su preparación.

De esta manera se tienen:

- a) Los asfaltos de fraguado rápido RC (rapid curing), en los que se utiliza nafta como solvente,
- b) Los de fraguado medio MC (medium curing), donde se emplea kerosene,
- c) Los de fraguado lento SS (slow curing), con base diesel oil como solvente.

Los asfaltos de fraguado rápido se utilizan cuando se requieren periodos muy cortos de fraguado.

Los de fraguado medio tienen aplicación en las operaciones donde se requiere un cubrimiento más

completo del agregado y una mayor penetración en las hendiduras o porosidades del material pétreo.

Los asfaltos de fraguado lento tienen pocas aplicaciones, normalmente su uso se ha restringido al logro de capas antipolvo y estabilización de arenas.

En la elaboración de emulsiones se utiliza asfaltos con rango de penetración 100 a 200. Debido a los problemas de contaminación y de costos inherentes no se justifica el uso de asfaltos rebajados en la elaboración de emulsiones asfálticas. La siguiente figura representa los diferentes tipos de asfaltos que se obtienen luego del proceso de destilación del crudo.

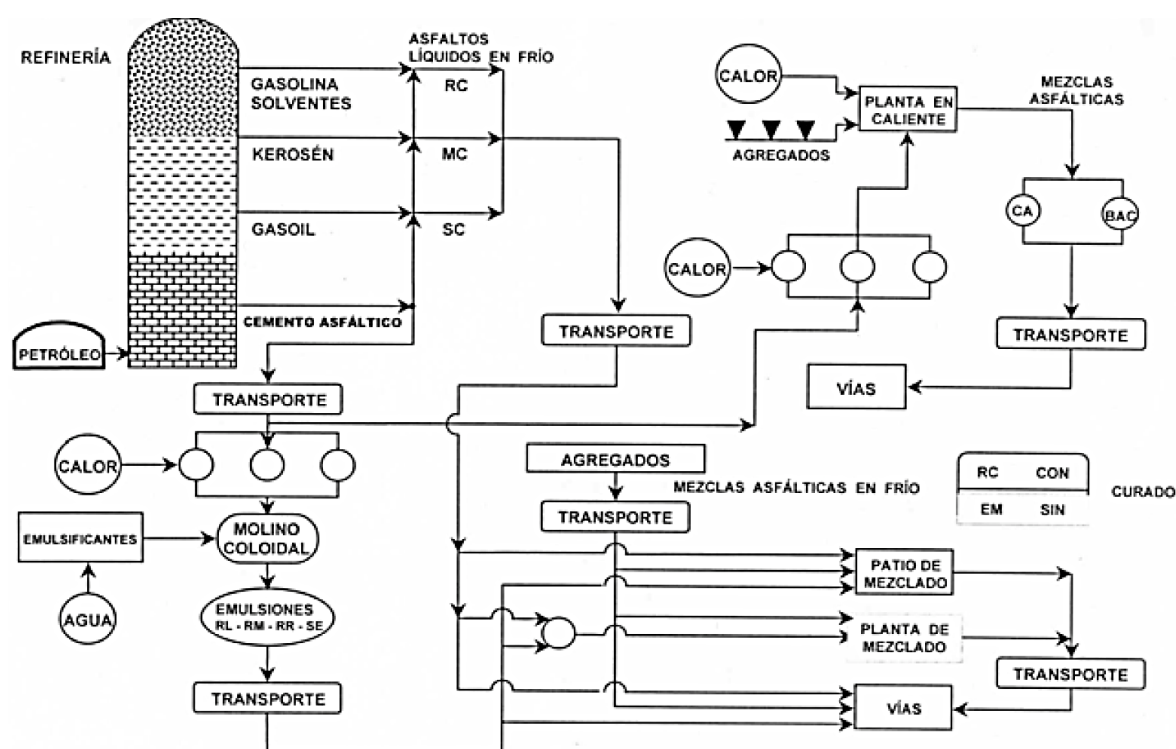


Figura 3-2 Tipos de asfaltos derivados de la destilación de crudo (BRACHO, 2005)

Pruebas a que debe ser sometido un asfalto.

Antes de ser utilizado, el asfalto debe ser sometido a una serie de pruebas que permiten determinar algunas propiedades que debe cumplir para un uso particular.

Los diferentes ensayos se agrupan en cinco categorías:

Ensayos para medir consistencia

La consistencia se define como el grado de fluidez que tiene un asfalto a una determinada temperatura. El asfalto es un material termoplástico, por lo que su consistencia varía en mayor o menor grado con la temperatura. Si se quiere realizar comparaciones entre ellos, es necesario medir su consistencia a una misma temperatura de condición de carga. Los ensayos más utilizados para medir la consistencia de los cementos asfálticos son los siguientes:

- Viscosidad absoluta a 140 °F (60 °C) ASTM D-2171
- Viscosidad cinemática a 275 °F (135 °C) ASTM D-2171
- Viscosidad Saybolt Furol ASTM E102-93(2003)
- Penetración a 25 °C ASTM D-5

Ensayos de durabilidad

Los cementos asfálticos sufren un mayor o menor grado de envejecimiento cuando son mezclados con los agregados en una planta asfáltica en caliente. El envejecimiento continúa durante toda la vida del pavimento por la acción del medio ambiente y otros factores.

Los siguientes ensayos son utilizados para medir de manera más o menos aproximada el envejecimiento de un cemento asfáltico.

- Película delgada (TFO) ASTM D-1754
- Rolling Thin Film Oven (RTFO) o Película fina rotativa ASTM D-2872

Ensayos de pureza

Los cementos asfálticos están constituidos por bitumen puro, el cual por definición es completamente soluble en disulfuro de carbono. Sólo un porcentaje muy pequeño de impurezas está presente en el cemento asfáltico obtenido de refinería. Para determinar el grado de impureza del cemento asfáltico se utiliza el siguiente ensayo:

- Solubilidad ASTM D-2042

Ensayos de seguridad

Si el cemento asfáltico es calentado a temperaturas altas, se producen vapores que en presencia de alguna chispa se pueden incendiar. Por lo tanto se hace necesario realizar los siguientes ensayos:

- Punto de inflamación o Flash Point.
- Método de la copa Cleveland . ASTM D-92

Otros ensayos

- Peso específico Ensayo de ductilidad
- Ensayo de la mancha

3.2.2 SOLUCIÓN JABONOSA

AGUA

El segundo componente en porcentaje de la emulsión es el agua, corresponde al 98 por ciento de la solución jabonosa. Entre los principales aportes del agua a la emulsión se tiene, el humedecimiento, la disolución y adherencia a otras sustancias; facilita las reacciones químicas.

El agua puede contener en su estructura otras sustancias que afecten la estabilidad de la emulsión en su fabricación.

Es muy recomendable el control del tipo de agua utilizado, para evitar el uso de agua inadecuada por impurezas, en solución y suspensión. Se debe tener especial cuidado con la presencia de iones de calcio y magnesio que afectan las propiedades de la emulsión.

Agua con presencia de materias extrañas no deben ser utilizadas en la producción de emulsiones porque originan desbalances en componentes de la emulsión que afectan el comportamiento de la emulsión y pueden producir rotura prematura.

En la fabricación de emulsiones se garantizara la pureza del agua, evitando sustancias que perjudiquen sus propiedades.

AGENTE EMULSIFICANTE

Este componente representa una cantidad muy pequeña en la emulsión pero tiene gran influencia porque depende de este producto químico conocido como “Surfactante” que determina si la emulsión se clasifica como aniónica, catiónica o no iónica. El emulsificante mantiene en suspensión a las partículas del asfalto y controla la rotura oportuna. El surfactante controla la tensión superficial entre el área de contacto entre las partículas de asfalto y el agua. Existen gran variedad de agentes emulsificantes su selección se la realiza en basada en la compatibilidad con el cemento asfáltico utilizado.

En las primeras emulsiones asfálticas se utilizó como agente emulsificante materiales como sangre de buey, arcillas y jabones, el incremento de la necesidad de emulsiones genero la investigación de materiales nuevos más eficientes, en la actualidad son sustancias químicas vendidas comercialmente.

La mayoría de emulsificantes catiónicos (cargados positivamente) están compuestos por aminas grasas, que se las convierte en jabón con la incorporación de ácidos como el ácido clorhídrico. Otro agente emulsificante catiónico se forma con sales cuaternarias de amonio, disueltas en agua sin necesidad de agregar ácidos.

Los fabricantes de emulsiones tienen sus propios procedimientos para incorporar los agentes a la emulsión, una forma de agregar es combinar el agente con el agua antes de mezclar con el asfalto en el molino coloidal, otros pueden combinar el agente con asfalto.

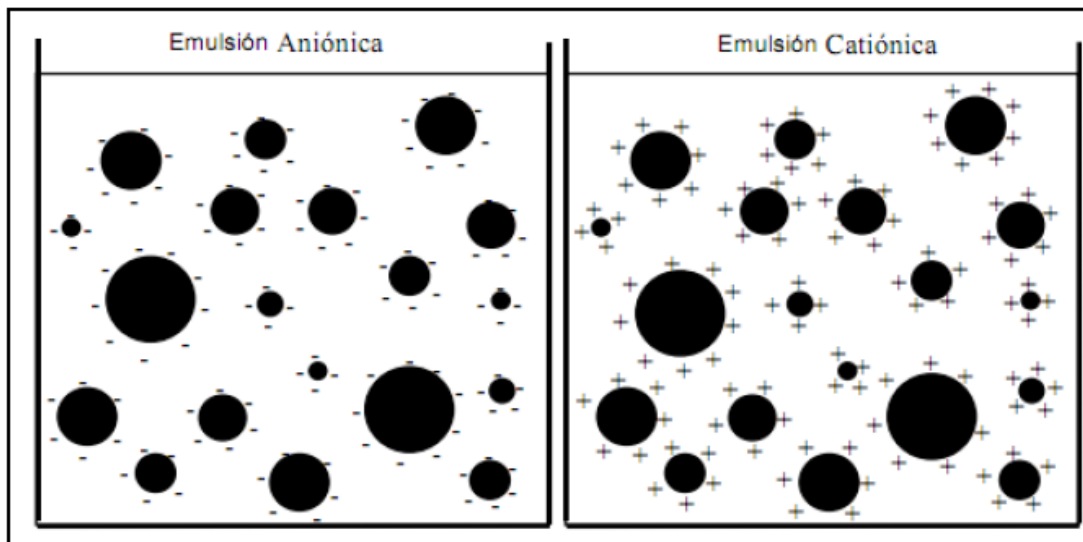


Figura 3-3 Representación de una Emulsión Aniónica y Catiónica. (INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE)

3.3 VARIABLES QUE AFECTAN LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Las emulsiones tienen muchos factores que afectan sus características en las diferentes etapas de fabricación, almacenamiento, uso y comportamiento. Todos los factores tienen igual importancia en la afectación de la emulsión. Entre las variables tenemos las siguientes:

- Propiedades químicas de la base de cemento asfáltico.
- Dureza y cantidad del cemento asfáltico de base
- Tamaño de las partículas de asfalto en la emulsión.
- Tipo y concentración del agente emulsivo.
- Condiciones de elaboración tales como temperatura, presión, y esfuerzo para separar las partículas de asfalto (afectan al molino coloidal)
- Carga iónica en las partículas de emulsión.
- Orden en que se agregan los elementos.
- Tipo de equipo empleado en la elaboración de la emulsión.
- Propiedades del agente emulsivo.
- Adición de modificadores químicos o de polímeros.
- Calidad del agua (dureza del agua)

Muchos de los factores expuestos variaran según la disponibilidad de tecnología, materias primas y de los procesos constructivos. Para la combinación entre agregados y asfalto, la calidad del asfalto la dará el proveedor de la emulsión.

3.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE LAS EMULSIONES

3.4.1 PRODUCCIÓN DE LA EMULSIÓN

Equipo Emulsificador:

El equipo común utilizado en la fabricación de emulsiones debe constar de un dispositivo mecánico de alta velocidad y altamente cortante, en términos generales se utiliza un molino coloidal que se encarga de dividir el asfalto en partículas minúsculas denominadas glóbulos.

Además se utiliza un tanque de solución emulsificante, un tanque para calentar el asfalto, bombas y medidores de flujo. El molino coloidal consta de un rotor de alta velocidad que se encarga de girar a velocidades de 1000 a 6000 revoluciones por minuto (17 – 100 HZ), tiene la facultad de regular las partículas a tamaños de 0.01 a 0.02 pulgadas (0.25 a 0.50 mm).

Esta regulación permite la producción de emulsiones con glóbulos de asfalto con diámetros menores al diámetro de un cabello humano porque tienen dimensiones de 0.001 a 0.005 pulgadas (0.025 a 0.125 mm). Los tamaños de los glóbulos de asfalto dependen del equipo utilizado y que permita cambiar las tolerancias de tamaños

La medición del asfalto y la solución emulsificante en el molino coloidal se la realiza por medio de bombas separadoras construidas con materiales resistentes a la corrosión que es una característica de la solución emulsificante.

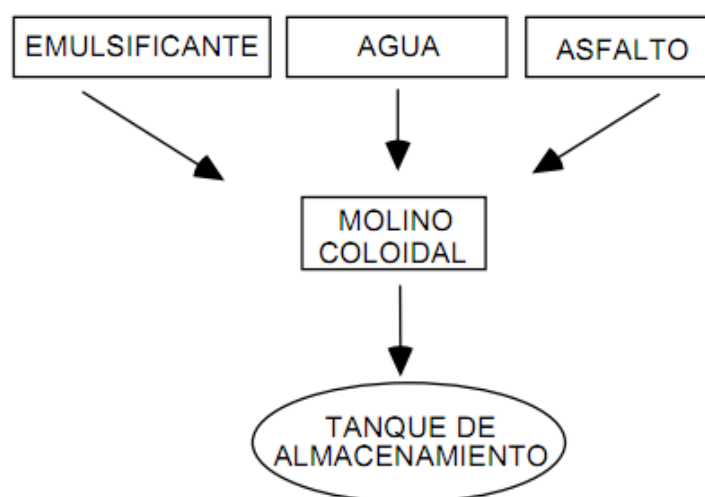


Figura 3-4 Proceso general de la fabricación de emulsiones asfálticas. (INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE)

Proceso de Emulsificación:

El método más utilizado para la producción de emulsiones consiste en enviar flujos de cemento asfáltico fundido y agua tratada en dirección de la entrada del molino coloidal utilizando bombas que desplacen estos materiales.

El asfalto y el agente emulsificante son expuestos a grandes esfuerzo de corte en el paso por el interior del molino coloidal. El resultado es una emulsión que puede movilizarse utilizando bombas a través de un intercambiador térmico.

El aumento de calor busca la finalidad de aumentar la temperatura del agua emulsificante antes de la entrada del molino coloidal. La emulsión es bombeada desde el intercambiador de calor a tanques de almacenamiento en bruto. Estos tanques pueden contener dispositivos agitadores en su interior con el fin de garantizar un mezclado uniforme.

El cemento asfáltico que es principal componente de la emulsión es calentado para ingresar al molino coloidal, aquí reduce el tamaño para formar los glóbulos. En el mismo instante, se agrega el agua que contiene el agente emulsificante. El objetivo del calentamiento del asfalto es conseguir una baja viscosidad, se ajusta la temperatura del agua a la temperatura del asfalto.

La variación de la temperatura es el resultado de las características del cemento asfáltico y la compatibilidad entre el asfalto y agente emulsificante.

En ningún caso se utilizan temperaturas extremas para la fabricación de la emulsión en el molino, las temperaturas deben estar bajo el punto de ebullición del agua.

Cada fabricante de emulsión elige la técnica que adición de emulsificante al agua relacionada con procedimiento de fabricación.

Los emulsificantes como las aminas consiguen su solubilidad con el agua, al mezclarlos y reaccionar con ácidos como el clorhídrico. Otros emulsificante como los ácidos grasos consiguen su solubilidad mezclándolos y reaccionado con álcalis, como el hidróxido de sodio, la forma de mezclado es realizando con un mezclador por lotes. El emulsificante se introduce en agua caliente que contiene ácido álcali, y se agita hasta su completa disolución.

La forma expuesta anteriormente explica como el asfalto y la solución asfáltica se dosifica de manera precisa. Otro aspecto importante que se puede observar es la temperatura de cada fase y la descarga del molino mediante medidores. Esto permite una forma de dosificación por temperatura que calcula la temperatura de salida de la emulsión terminada relacionando con las temperaturas de ingreso de los diferentes ingredientes de la emulsión.

Un factor muy importante en la fabricación de emulsiones estables es el tamaño de las partículas de asfalto.

Un análisis microscópico de tamaños de promedio de partículas de una emulsión revela los siguientes datos:

Tamaño	Porcentaje
Menores que 0,001 mm (1 μ m)	28%
0,001 – 0,005 mm (1-5 μ m)	57%
0,005 – 0,010 mm (5-10 μ m)	15 %

Tabla 3-3 Análisis microscópico de tamaños de promedio de partículas de una emulsión

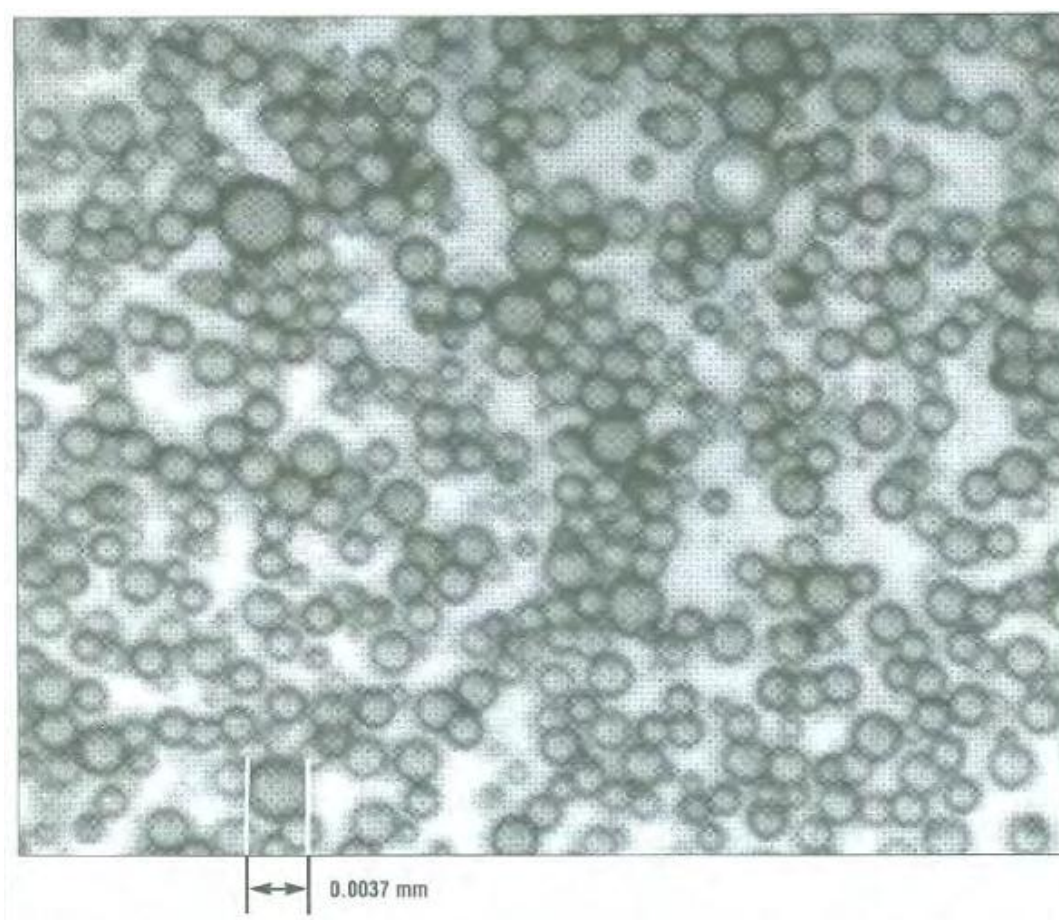


Figura 3-5 Microfotografía que demuestra los tamaños y distribución de las partículas de Asfalto (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001)

Las partículas finas en forma de asfalto con tamaño microscópico se esparcen en el agua por la presencia del emulsivo (surfactante). El surfactante produce un cambio en la tensión superficial en el área de contacto entre las gotitas de asfalto y el agua, permitiendo así que el asfalto

permanezca en suspensión. Las partículas de asfalto, todas con similares cargas eléctricas, se repelen entre sí, lo que ayuda a mantenerlas suspendidas.

3.5 ROTURA Y CURADO DE UNA EMULSIÓN

3.5.1 ROTURA:

Para que la emulsión asfáltica cumpla su objetivo final, esto es, actúe como ligante con propiedades cementantes e impermeabilizantes, el agua debe separarse de la fase asfáltica y evaporarse. Esta separación se denomina “rotura” (breaking). (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001)

Para tratamientos superficiales y sellos, se formulan las emulsiones para romper una vez entren en unión con una sustancia extraña tal como un agregado o la superficie de un pavimento. Los glóbulos de asfalto entran en coalescencia¹ y producen una membrana continua de asfalto sobre el agregado o pavimento. Para mezclas densas, se requiere más tiempo para admitir el mezclado y fraguado. En resultado, las emulsiones utilizadas para mezclas se sugieren para rotura retardada. La coalescencia del asfalto se conoce como rotura o fraguado. La velocidad a la cual los glóbulos de asfalto se separan de la fase acuosa se identifica como tiempo de rotura o fraguado. Por ejemplo, una emulsión de rotura rápida romperá entre uno a cinco minutos después de ser aplicada, mientras que una emulsión de rotura media o lenta puede tomar un tiempo mayor.

La velocidad de rotura depende de factores como: el tipo específico y concentración del agente emulsificante empleado en la emulsión, así como por las condiciones atmosféricas.

La tasa de absorción de los diferentes tipos de agregados favorece la succión de líquidos, afectando la rotura porque está vinculada con las características de absorción del agregado usado. Los agregados con altas tasas de absorción tienden a acelerar la rotura de la emulsión por motivo de una remoción más rápida del agua emulsionante.

La velocidad de rotura en agregados que constituyen mezclas formadas por emulsión y agregado, la gradación y área superficial del agregado son también factores significativos. Al cambiar el área superficial, las características de rotura del medio también cambian debido a la alteración de la absorción (acumulación en la superficie) del agente emulsificante por el agregado. Con miras a obtener óptimos resultados, es necesario controlar el tamaño del agregado o ajustar la formulación de la emulsión para cumplir los requisitos del agregado.

1COALESCENCIA: F. PROPIEDAD O CAPACIDAD DE CIERTAS SUSTANCIAS Y COSAS PARA UNIRSE O FUNDIRSE CON OTRAS EN UNA SOLA

3.5.2 CURADO

Para usos en pavimentación, tanto las emulsiones aniónica como las catiónicas dependen de la evaporación del agua para el desarrollo de sus características de curado y adherencia. El desplazamiento del agua puede ser bastante rápido bajo entornos favorables del clima; pero, pueden interferir con un curado apropiado una alta humedad, baja temperatura o lluvia, poco tiempo después de la aplicación. A pesar de que las condiciones superficiales y atmosféricas son menos críticas para las emulsiones catiónicas que para las aniónicas, aún dependen de las condiciones climáticas para lograr óptimos resultados.

Una de las principales ventajas del uso de emulsiones catiónicas, es la propiedad de dejar el agua un poco más.

La teoría tradicional propone que las emulsiones aniónicas por tener carga negativas en los glóbulos de asfalto tienen un mejor comportamiento cuando se los combina con agregados en que mayoritariamente tengan cargas positivas en su superficie como las calizas. La teoría también sostiene que las emulsiones catiónicas por tener las cargas positivas sobre los glóbulos de asfalto, dan como resultado un comportamiento mejor con agregados que tiene cargas negativas en superficie como agregados silíceos o graníticos. No existe un acuerdo sobre esto porque existen estudios recientes que contradicen las teorías tradicionales

Cuando se usan emulsiones de rotura rápida tanto aniónicas como catiónicas, la sedimentación inicial del asfalto se desarrolla en función de fenómenos electromecánicos.

La generación de la principal unión resistente entre la película de asfalto y los agregados, viene después de la pérdida del agua emulsificante. Esta película de agua puede ser desplazada por evaporación, presión (envolvimiento), o por absorción. En el uso real, la rotura es generalmente una función de la combinación de estos tres factores.

3.5.3 FACTORES QUE AFECTAN LA ROTURA Y EL CURADO

Algunos de los factores que afectan las velocidades de rotura y curado de las emulsiones asfálticas son:

- Absorción de agua.- Un agregado de textura áspera, poroso, acelera el tiempo de rotura al absorber agua de la emulsión.
- Contenido de humedad de los agregados.- los agregados húmedos facilitan el recubrimiento, pero hacen más lento el proceso de curado al aumentar el tiempo necesario para la evaporación.
- Condiciones climáticas.- La temperatura, la humedad, y la velocidad del viento tienen influencia en la velocidad de evaporación del agua, en la migración del emulsivo y en las características de liberación del agua. Las altas temperaturas pueden originar la formación de

“piel” en tratamientos superficiales (chips seals) atrapando el agua y retardando el curado. Fuerzas mecánicas.- La presión de los rodillos y en poca cantidad el tráfico a baja velocidad, desalojan el agua de la mezcla y mejoran la cohesión, el curado y la estabilidad de la mezcla.

- Superficie específica.- Una mayor superficie específica de los agregados, particularmente finos en exceso o agregado sucio, acelera la rotura de la emulsión.
- Química de superficies.- Las intensidades de la carga de la superficie del agregado y la intensidad de la carga del agente emulsivo, pueden influir intensamente en la velocidad de rotura.
- Temperatura de la emulsión y el agregado.- La rotura se demora cuando las temperaturas de la emulsión y el agregado son bajas.
- Tipo y cantidad de emulsivo.- El surfactante empleado en la elaboración de la emulsión determina las características de rotura de los grados de emulsiones para sellados y para mezclas.

3.5.4 PROPIEDADES BÁSICAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas poseen dos tipos de propiedades; las intrínsecas, aquellas propiedades internas naturales de la emulsión y son las mismas que presentan cualquier ligante asfáltico: viscosidad, adhesividad y cohesividad; y las propiedades mecánicas que condicionan su comportamiento como ligante en la construcción de pavimentos.

Propiedades intrínsecas

- **Viscosidad**

Viscosidad es la resistencia que desarrolla un líquido al oponerse al movimiento de las partículas que lo conforman o se encuentran en su interior. Esta propiedad resulta de gran interés e importancia al momento de definir una emulsión adecuada para cada tratamiento.

Cuando la emulsión es de baja viscosidad se puede utilizar para hacer riegos de imprimación y en gran parte para estabilizaciones de suelo, mientras que si es de alta viscosidad, será empleada en tratamientos superficiales y en mezclas abiertas, donde se debe garantizar que el material o agregado mineral sea provisto de una película de ligante suficientemente alta en su superficie. La viscosidad es medida en Segundos Saybolt Furol (SFS), según especificaciones y normas norteamericanas A.S.T.M. y A.A.S.H.O.

En una emulsión asfáltica la viscosidad es dependiente de ciertos factores tales como: la temperatura (a mayor temperatura menor viscosidad), el tamaño y granulometría de los glóbulos de asfalto (siendo más viscosa las emulsiones en que las partículas son de tamaño uniforme, a diferencia de las que poseen tamaños bien gradados); dureza del cemento asfáltico de origen (cementos más duros dan como resultados emulsiones menos viscosas que las procedentes de cementos asfálticos más blandos); características del molino utilizando en la dispersión del asfalto en agua; contenido del cemento asfáltico (entre porcentajes de 65% y 70% la viscosidad crece

muy rápidamente); naturaleza y cantidad de emulsificante en la emulsión; contenido de fluidificantes en el asfalto base (al agregarle una pequeña cantidad de fluidificantes en asfaltos duros permite disminuir la viscosidad en la emulsión).

- **Adhesividad**

La adhesividad que presenta una emulsión asfáltica frente a un agregado o la capacidad de envolver al mismo y mantenerse, está ligada a una serie de elementos relacionados con la naturaleza y características del agregado; y de la emulsión utilizada, como consecuencia esta propiedad es muy compleja de ser estimada.

Los factores relacionados con la emulsión que pueda influenciar en la adhesividad alcanzada entre el agregado y la emulsión son: la naturaleza y cantidad del emulsificante en la emulsión, tipo de asfalto de base utilizado y pH de la emulsión (valores de pH próximos a 7 proporcionan mejores adhesividades pero menores estabilidades de la emulsión, mientras que valores alejados de 7 proporcionan emulsiones más estables pero adhesividades menores).

Las emulsiones catiónicas poseen mayor y mejor capacidad de adherencia que las emulsiones aniónicas frente a la gran mayoría de los agregados minerales. En las primeras prevalece la reacción físico-química en contacto con la mayor parte de los agregados, aún con los de mayor predominio calcáreo, variando en todo caso la velocidad del proceso de un agregado a otro; será más rápido para un árido silíceo que para uno calcáreo. En las emulsiones aniónicas el proceso principal consiste en la evaporación del agua, por lo tanto son más dependientes de las condiciones atmosféricas, exhiben una rotura de notable lentitud y baja adherencia.

Las emulsiones presentan una muy buena adhesividad activa (al momento de mezclarse con el agregado), consecuencia lógica de su fluidez y facilidad de mojar los agregados, al mismo tiempo que una buena adhesividad pasiva (capacidad de mantener la unión asfalto – agregado, sin peligro de desplazamiento del ligante, incluso en presencia de agua y tráfico) principalmente en las emulsiones catiónicas, por la presencia de compuesto tensoactivos en su formulación.

- **Cohesividad**

La cohesividad en emulsiones asfálticas es la fuerza aglutinante propia de la mezcla para pavimentación. Una definición explica el concepto de la cohesividad: “Es la resistencia a la rotura en masa de un ligante. En el caso de las emulsiones es inicialmente baja, pero va aumentando a medida que se va eliminando el agua, de modo que al cabo de un tiempo más o menos breve llega a alcanzar la del asfalto base”.

Al colocar la emulsión en contacto con los agregados pétreos se comienza a separar la fase dispersada de su medio continuo; el agua se evapora y se acercan los glóbulos de asfalto cuando vencen la fuerza de rechazo electrostática existente inicialmente entre ellos por la presencia del emulsificante, produciendo un verdadero cemento entre la película residual de asfalto y el agregado, dando como resultado aumento de cohesión, que es muy similar a la del asfalto base.

Propiedades Mecánicas que condicionan el comportamiento de las emulsiones

Al mismo tiempo de las características químicas que deben cumplir las emulsiones asfálticas, existen un segundo grupo de características mecánicas que condicionan su comportamiento y ofrecen una manera de clasificación; las cuales son las siguientes:

- **Estabilidad en el almacenamiento**

Finalizada la fabricación de una emulsión esta debe conservar sus propiedades y características de formulación. Esta estabilidad se asegura por la repulsión electrostática de los glóbulos de asfalto y está íntimamente ligada con el pH de la fase acuosa y con la finura de la dispersión (tamaño de los glóbulos). Se controlará las siguientes precauciones para evitar el cambio de las propiedades originales.

a) Espumas

Para evitar la formación de espumas en emulsiones asfálticas donde el emulsificante es capaz de formarlas, se recomienda no agitar violentamente ni verterla en cascada. Por lo tanto el llenado de depósitos debe hacerse prolongando la tubería hasta unos 20 cm del fondo del tanque. El transporte debe hacerse en cisternas con rompeolas que dividan su interior.

b) Natas

La nata es una película endurecida que se forma en la superficie en contacto con el aire, protegiendo el resto de la emulsión. Para mantenerla es aconsejable el almacenamiento en depósitos cilíndricos, de eje vertical alimentados desde el fondo, ya que si se rompe trae consecuencias negativas en el flujo de la emulsión asfáltica al formarse grumos indeseables que obstruyen las bombas de alimentación y los difusores de riego.

c) Sedimentos

Los sedimentos aparecen cuando los glóbulos de asfalto descienden hasta al fondo y se depositan aumentando la viscosidad en las zonas inferiores del depósito, siendo reversible mientras no se produzca la rotura de la emulsión. Para contrarrestar este fenómeno se recomienda:

Utilizar agentes estabilizantes, aumentar la concentración del emulsificante o lograr una mayor finura de dispersión.

d) Mezcla entre emulsiones

No se debe mezclar emulsiones aniónicas con catiónicas, ya que tienden a coagular (romper) por una reacción electroquímica. Si se trata de diluir las emulsiones, deberá tenerse en cuenta que el agua de dilución sea básica para la aniónica o ácida para las catiónicas. Es muy importante la limpieza de los tanques de almacenamiento cuando han contenido emulsiones de distinto tipo.

e) Aditivos

El uso de aditivos se justifica cuando las emulsiones no han reaccionado con un determinado árido, pero deber hacerse con cautela y conocimiento de los aditivos utilizados (naturaleza y propiedades), ya que estos procedimientos pueden traer consecuencias negativas, al provocar la rotura prematura de la emulsión por la incompatibilidad del activante con el emulsificante.

f) Temperatura

Con temperaturas entre 10 °C y 85 °C se considera que las emulsiones asfálticas son estables y mantienen todas sus propiedades.

Temperaturas menores de 10 °C endurecen excesivamente las emulsiones, aumentando la viscosidad del asfalto residual y por ende su densidad, favoreciendo la sedimentación.

Un aumento de la temperatura incrementa la energía cinética de las moléculas del emulsificante, por lo que fácilmente abandonan los glóbulos de asfalto, disminuyendo la estabilidad de la emulsión. Además de producirse la evaporación del agua se forman natas en la superficie del líquido, las cuales obstruyen las bombas y los difusores de riego.

- **Estabilidad de la emulsión ante los agregados**

La estabilidad de la emulsión ante los agregados está relacionada con la forma de rotura al entrar en contacto con los materiales pétreos con los que se mezcla, depende tanto del tipo de emulsión como del tipo de agregado. La emulsión más estable son llamadas de rotura lenta y se caracterizan por poderse mezclar con un filler sin romper. Para definir esta propiedad, se utiliza el ensayo de mezclas con cemento para emulsiones aniónicas y mezclas con un filler-silíceo en las catiónicas.

- **Características del residuo asfáltico**

Las características y propiedades del cemento asfáltico condicionan el comportamiento de las emulsiones asfálticas como ligante en la construcción de pavimentos. La viscosidad, la presencia de fluidificantes (en exceso retrasa la cohesión final) y la dureza del asfalto residual pueden considerarse como las de mayor importancia.

3.5.5 CONTROL DEL CALIDAD

Las características propias de cada emulsión están dadas por el tipo de asfalto utilizado y el método de fabricación empleado, por este motivo el fabricante debe garantizar su producto, sin embargo se describe los principales ensayos que se realizan en las emulsiones asfálticas

Las emulsiones asfálticas se elaboran en caliente, pues el asfalto para llevarlo a una forma fluida necesita altas temperaturas, algunas emulsiones son almacenadas en caliente, y algunas son transportadas y aplicadas en caliente. Las muestras en caliente recogidas en campo son a menudo enviadas al laboratorio a temperatura ambiente. Las muestras de emulsiones asfálticas con requisitos de viscosidad a 50°C deben ser calentadas hasta alcanzar una temperatura de 50 ± 3 °C en un baño de agua a 70°C o en una estufa. Las muestras deben ser removidas, no agitadas, para asegurar homogeneidad.

Control de Calidad en la Fabricación

- **Determinación del Potencial de Hidrógeno, ASTM D244.**

El pH es una medida del grado de acidez y alcalinidad de la sustancia analizada; su valor oscila entre 0 y 14. Las sustancias ácidas poseen un pH menor de 7 y las bases o alcalinas un pH mayor de 7, siendo neutras para un valor igual a 7.

Una misma emulsión se comporta de forma diferente según tenga un pH de 4,5 ó de 2,0. La primera tendrá una buena adhesividad, pero su rompimiento será muy rápido; la segunda tendrá una adhesividad dentro de los límites aceptables pero su rompimiento será mucho más lento.

Residuo por Destilación según designación ASTM D244-92

Esta prueba tiene por objeto determinar las proporciones de agua y residuo asfáltico que contiene la emulsión.

Se puede realizar ensayos con el residuo asfáltico de la emulsión, por ejemplo: penetración, ductilidad, punto de inflamación y punto de ablandamiento.

El objetivo es determinar las proporciones de agua y residuo asfáltico que contiene la emulsión.

El residuo de la emulsión puede utilizarse para efectuar las pruebas de penetración, ductilidad y solubilidad en tetracloruro de carbono, además de determinar el grado en que ha sido rebajado el cemento asfáltico, si es el caso.

- **Residuo por Evaporación ASTM D244**

El objeto de esta prueba es determinar el residuo de las emulsiones asfálticas en porcentaje (%), por medio de evaporación rápida.

Según estadísticas, se dice que el residuo así obtenido da resultados de penetración y ductilidad inferiores a los que se logran en el residuo por destilación.

Por su fácil ejecución y rapidez en la misma, es el más utilizado para conocer la concentración de la emulsión y realizar cálculos de dosificación en campo.

- **Residuo por Evaporación modificado ASTM D244**

Este ensayo permite controlar la producción de un molino que produce más de 20 toneladas por hora, siendo necesario conocer inmediatamente los rangos del residuo.

- **Asentamiento o Sedimentación ASTM D244-29/32.**

La prueba de sedimentación o asentamiento, nos indica el grado de estabilidad que tienen las emulsiones durante su almacenamiento.

Detecta la tendencia de los glóbulos de asfalto a sedimentarse durante el almacenamiento. También sirve como indicador de la calidad de la emulsión.

La prueba tiene una duración de cinco días, siendo necesario en obras de gran movilidad realizarla la prueba de estabilidad de almacenamiento, que tiene una duración de 24 horas.

Cuando la densidad del asfalto es ligeramente menor que la del agua, debido a solventes adicionales, por diferencia de densidades los glóbulos de asfalto tienden a flotar, presentándose en algunos casos una migración de los mismos hacia la superficie del líquido.

- **Sedimentación en 24 horas. ASTM D244**

Esta prueba es una variante a la anterior, y aparece en sustitución de la prueba de sedimentación a 5 días. El procedimiento de la prueba es el mismo, lo único que varía es que la muestra es ensayada en 24 horas y el parámetro de la especificación es diferente.

- **Sedimentación en caso de nuevas formulaciones**

Si la cantidad de emulsión generada en cada experimento es pequeña, menor al volumen al especificado en la norma (500 ml), se puede llevar a cabo una prueba de sedimentación colocando una muestra de la emulsión en cilindros graduados.

Cada muestra se coloca en un tubo de ensayo de 50 ml, se tapa para evitar evaporación, se rotula y se toman los datos de volumen de emulsión y la fecha y hora de inicio. A un tiempo determinado, se toma la lectura donde se observa la interfase agua-emulsión. Finalmente, se grafican los datos de altura vs tiempo Retenido en la malla #20.

- **ASTM D 244-38/41.**

Esta prueba sirve como complemento a la prueba de sedimentación y tiene como propósito determinar cuantitativamente la cantidad de glóbulos de asfalto que pueden no haberse detectado en la prueba de sedimentación y que podría obstruir el equipo de rociado, así como el espesor y la uniformidad de la película de asfalto sobre el agregado.

- **Carga eléctrica. ASTM D-244.**

La prueba de carga eléctrica se realiza para identificar las emulsiones catiónicas o aniónicas a través de su corriente eléctrica.

Se lleva a cabo mediante la inmersión de dos electrodos, uno negativo (cátodo) y otro positivo (ánodo) en una muestra de emulsión, conectado a una fuente controlada de corriente continua. Al final de un período de tiempo especificado, se observan los electrodos para determinar si el cátodo

presenta una capa visible de asfalto depositado sobre él, si esto es así, la emulsión se clasifica como catiónica.

Control de calidad en la aplicación

- **Viscosidad SAYBOLT-FUROL. ASTM D244-D88.**

La viscosidad se define como la resistencia al flujo de un líquido.

En el caso de las emulsiones, la prueba se define como una medida de la consistencia de la misma y por lo tanto da una idea de sus posibilidades de aplicación y comportamiento en un caso determinado.

Los resultados se reportan en segundos. Por conveniencia y precisión de ensayo, se emplean dos temperaturas de prueba, que cubre el intervalo normal de trabajo: 25°C y 50 C°.

- **Miscibilidad de las emulsiones con Cemento Portland ASTM D 244**

La prueba se aplica a las emulsiones aniónicas y en algunos casos especiales a las catiónicas con la finalidad de conocer la estabilidad de la emulsión al mezclarse con un material tan fino como el cemento.

El ensayo consiste en medir el porcentaje de grumos que se obtienen cuando la emulsión pierde estabilidad al mezclarse con el cemento. Por consiguiente, el valor (% con respecto a la cantidad de emulsión de prueba, 100 g) es un indicativo del elevado grado de estabilidad química de algunas emulsiones de rotura lenta. Muy pocos emulsificantes son capaces de generar emulsiones que pasen este duro ensayo.

- **Miscibilidad con agua ASTM D 244**

Esta prueba tiene como finalidad investigar si las emulsiones de rotura media o lenta pueden mezclarse con el agua.

No es aplicable a emulsiones de rotura rápida. Después de adicionarle agua a la emulsión se procede a agitar la mezcla, se deja la muestra en reposo durante dos horas, luego de ese período de tiempo se examina visualmente para determinar una posible coagulación de los glóbulos de asfalto en la muestra.

Esta prueba es una medida de calidad del producto, además indica si la emulsión es capaz de mezclarse con agua o ser diluida en ella. A menudo se forma un depósito espeso de emulsión en el fondo del recipiente, si es pequeño, ello significará que la emulsión ha sido apropiadamente formulada y que las partículas en dispersión están en el intervalo del tamaño deseado.

- **Ensayos de cubrimiento**

Para este ensayo, se mezclan las emulsiones con un material de prueba, de tipo silíceo de cierta granulometría. El material de prueba se subdivide en porciones; a cada muestra se le agrega cierta cantidad de agua de pre- envuelta para lograr las condiciones adecuadas de humedad que faciliten una mejor manipulación del mezclado de la emulsión con el agregado. Se añade una cantidad de emulsión determinada y se mezcla el conjunto manualmente en un recipiente, con ayuda de una paleta, hasta que se observe que la emulsión ha sido repartida uniformemente en el material. El material cubierto se extiende en papel periódico por 24 horas, o hasta que se observe que el agua ha sido eliminada por completo. Finalmente, se prepara una briqueta, utilizando un equipo Hubbar Field, para determinar las características de adhesión del asfalto residual con el agregado. Luego de preparada la briqueta, se debe esperar 24 horas para proceder a su ruptura, y de esta manera determinar si su resistencia es la adecuada para el propósito requerido.

- **Ensayo de rompimiento**

Este ensayo tiene por objeto determinar el tipo de rompimiento de una emulsión (lento, medio o rápido) según la cantidad de cemento que origina la ruptura. Se utiliza un equipo con agitación continua (150 rpm) provisto de un recipiente cilíndrico, con capacidad de 34 g de emulsión, y un agitador de tipo ancla. Se pesa el sistema (recipiente, agitador y emulsión) y luego se adiciona el cemento portland a razón de 0.2 a 0.3 g/s hasta rotura completa, la cantidad de cemento añadida se estima por diferencia de peso.

En las siguientes tablas se expone las especificaciones que deben cumplir las emulsiones.

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	TIPO													
		Rompimiento													
		Rápido				Medio				Lento				Acelerado	
		G R A D O													
		CRS -1		CRS - 2		CMS - 2		CMS - 2h		CSS-1		CSS-1h		CQS- 1H	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Pruebas sobre la emulsión															
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C	SF S	20	100	400	500	450	500	450	500	---	---	---	---	---	---
Prueba de estabilidad en almacenamiento, 24 h A	%	---	1	---	1	---	1	---	1	---	1	---	1	---	---
Demulsibilidad , 35 mL, 0.8% sulfocianato de dioctil sodio	%	40	---	40	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Habilidad de revestimiento y resistencia al agua:															
Película agregado seco	---	---		---		Buena		Buena		---		---		---	
Película después de rociado	---	---		---		Regular		Regular		---		---		---	
Película agregado húmedo	---	---		---		Regular		Regular		---		---		---	
Película después de rociado	---	---		---		Regular		Regular		---		---		---	
Prueba de tamizado B)	%. .	---	0,1	---	0,1	---	0,1	---	0,1	---	0,1	---	0,1	---	0,1
Prueba de mezclado de cemento	%	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2	---	2	---	N/A
Destilación:															
Aceite destilado, por Volumen de emulsión	%	---	3	---	3	---	12	---	12	---	---	---	---	---	---
Residuo	%. .	60	---	65	---	65	---	65	---	57	---	57	---	57	---
Pruebas sobre el residuo de la destilación:															
Penetración, 25°C, 100 g, 5s	1/10 mm	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90	40	90
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min	Cm	40	---	40	---	40	---	40	---	40	---	40	---	40	---
Solubilidad en tricloroetileno	%	97,5	---	97,5	---	97,5	---	97,5	---	97,5	---	97,5	---	97,5	---

A) Todas las pruebas referidas en esta tabla se deberán realizar de acuerdo a los Métodos de ASTM D-244, con las excepciones definidas en el método ASTM D 2397. B) Esta prueba requiere que se realice sobre muestras representativas y será descartada si la aplicación del material resulta exitosa, habiendo sido probada en el campo.

Nota 1 -Las emulsiones CQS-1 H deben cumplir los requerimientos resumidos en las Prácticas Estándar D-3910 para Diseño, Prueba y Construcción de Sellado por Suspensión
 Nota 2 - El CQS -1h se utiliza para Sistemas de Sellado por Suspensión de Fraguado Acelerado

Tabla 3-4 Especificaciones para emulsiones asfálticas catiónicas (ASTM D 2397-02)

Tipo	Rompimiento rápido						Rompimiento medio					
Grado	RS-1		RS-2		HFRS-2		MS-1		MS-2		MS-2h	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Test sobre la emulsión												
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C, SFS	20	100	...	...	...	...	20	100	100	...	100	...
Viscosidad Saybolt Furol a 50 °C, SFS	...	...	75	400	75	400	...	...	...	...	...	...
prueba de estabilidad en almacenamiento, 24 h, %	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1
Demulsibilidad, 35 mL de CaCl ₂ 0,02 N, %	60	...	60	...	60	...	...	...	...	...	...	...
Habilidad de revestimiento y resistencia al agua												
Película agregado seco	....		....		....		Bueno		Bueno		Bueno	
Película después de rociado	....		....		....		Regular		Regular		Regular	
Película agregado húmedo	....		....		....		Regular		Regular		Regular	
Película después de rociado	....		....		....		Regular		Regular		Regular	
Prueba de mezclado de cemento, %	....		....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Prueba de tamizado, % A	....	0,1	....	0,1	....	0,1	....	0,1	....	0,1	....	0,1
Residuo por destilación, %	55	....	63	....	63	....	55	....	65	....	65	....
Aceite destilado por volumen de Emulsión, %	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Pruebas sobre el residuo de la destilación												
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s (1/10 mm)	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	40	90
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min, cm	40	....	40	....	40	....	40	....	40	....	40	....
Solubilidad en tricloro-etileno, %	97,5	....	98	....	97,5	....	97,5	....	97,5	....	97,5	....
Prueba de flotador, 60°C,	....	...	....	...	1200	....	...	....	....	....	....	...

Tabla 3-5 Especificaciones para emulsiones asfálticas aniónicas; Rompimiento Rápido y Medio (ASTM D-977-98)

	Rompimiento														
Tipo	Medio								Lento				Acelerado		
Grado	HFMS-1		HFMS-2		HFMS-2h		HFMS-2s		SS-1		SS-1h		QS –1H		
	Mi n	M ax	Mi n	M ax	Mi n	M ax	Mi n	M ax	Mi n	M ax	Mi n	M ax	M in	M ax	
Test sobre la emulsión															
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C, SFS	20	100	100	....	100	....	50	...	20	100	20	100	20	100
Viscosidad Saybolt Furol a 50 °C, SFS	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
prueba de estabilidad en almacenamiento, 24 h, %	....	1	....	1	....	1	....	1	1	1	....	1		
Demulsibilidad, 35 mL de CaCl2 0,02 N, %	...	...	....	....	....	....	....	...	..	...	....	....
Habilidad de revestimiento y resistencia al agua															
Película agregado seco	Bueno		Bueno		Bueno		Bueno		....		....	
Película después de rociado	Regular		Regular		Regular		Regular		....		....	
Película agregado húmedo	Regular		Regular		Regular		Regular		....		....	
Película después de rociado	Regular		Regular		Regular		Regular		....		....	
Prueba de mezclado de cemento, %	....	....	....	....	....	....	....	....	....	2	....	2	---	N/A
Prueba de tamizado, % A	....	0,1	....	0,1	....	0,1	....	0,1	....	0,1	....	0,1	....	0,1
Residuo por destilación, %	55	....	65	....	65	....	65	....	57	....	57	....	57	....
Destilado de Aceite por volumen de Emulsión, %	....	....	....	....	....	....	1	7	....	....	....	....
Pruebas sobre el residuo de la destilación															
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s (1/10 mm)	100	200	100	200	40	90	200	....	100	200	40	90	40	90
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min, cm	40	....	40	....	40	....	40	....	40	....	40	....	40	....
Solubilidad en tricloro-etileno, %	97,5	....	97,5	....	97,5	....	97,5	....	97,5	....	97,5	....	97,5	....
Prueba de flotador, 60°C,	1200	...	1200	...	1200	....	1200	....	....	....	....	...	...	...

A Esta prueba requiere que se realice sobre muestras representativas y será descartada si la aplicación del material resulta exitosa, habiendo sido probada en el campo.

Nota 1 -Las emulsiones QS-1H deben cumplir los requerimientos resumidos en las Prácticas Estándar D-3910 para Diseño, Prueba y Construcción de Sellado por Suspensión

Nota 2 - El QS-1H se utiliza para Sistemas de Sellado por Suspensión de Fraguado Acelerado

Tabla 3-6 Especificaciones para emulsiones asfálticas Aniónicas; Rompimientos Medio, Lento y Acelerado (ASTM D-977-98)

3.6 USOS Y APLICACIONES DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas tienen gran aplicabilidad dentro de la industria de los materiales de construcción.

Entre los principales usos de las emulsiones asfálticas tenemos los siguientes:

Tratamientos de Superficie	Reciclado de Asfalto	Otras Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none">• Riego pulverizado• Sellado con arena• Lechadas• Micro aglomerado• "Cape seal"	<ul style="list-style-type: none">• Frío in-situ• Full depth• Caliente in-situ• En planta central	<ul style="list-style-type: none">• Estabilización (suelo y base)• Riegos de liga• Bacheo de mantenimiento• Paliativos de polvo• Riegos de imprimación• Sellado de fisuras• Recubrimientos de protección

Tabla 3-7 Principales usos de las emulsiones asfálticas

Fuente: ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001)

Estas se pueden usar para diversas aplicaciones dependiendo si contienen o no agregados² :

1. Sin agregados

- a. Riegos
- b. Tratamientos y sellado.

2. Con agregados

- a. Tratamientos superficiales.
- b. Tratamientos antifisuras.
- c. Lechadas o slurrys.
- d. Reciclados.
- e. Mezclas en frío

3.6.1 USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS SIN AGREGADOS.

Riego

El riego consiste en la distribución, rociado uniforme de la emulsión asfáltica de manera tal que el mismo sea uniforme. Estos riegos no requieren la utilización de agregados. La forma más común de efectuar el riego de la emulsión asfáltica es utilizando un camión regador.

² MERCADO, R., BRACHO, C., & AVENDAÑO, J. (2008). Emulsiones Asfálticas, Usos-Rompimientos. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.

Riego de liga

Es la aplicación de la emulsión asfáltica sobre un pavimento ya existente y se utiliza para obtener una buena adherencia con la nueva capa asfáltica a construir.

La emulsión comúnmente usada para este trabajo es la emulsión de tipo catiónico de ruptura rápida. En algunos casos se utilizan emulsiones medias. El objetivo es lograr una capa fina y uniforme de emulsión la cual liberará el asfalto luego de romper.

Riego de Curado

Este riego se aplica sobre un agregado estabilizado con cemento o cal para evitar una evaporación excesiva y con esto facilitar el fraguado. Las normas internacionales recomiendan la utilización de emulsiones de corte rápida para esta tarea. Este riego permite que el pavimento adquiera un color negro uniforme en toda su superficie, fijando cualquier material suelto (polvo) y sellando pequeñas fisuras.

Riego Antipolvo

Se realiza en caminos de tierra para fijar el material suelto de su superficie. El objetivo final es obtener una película delgada de asfalto a partir de riegos sucesivos efectuados con una emulsión muy diluida. En caminos de tierra, un automóvil produce 560 toneladas de polvo por Km. al año.

Tratamientos y sellado

En este caso, la emulsión se aplica sobre superficie de pavimentos envejecidos con el objeto de rejuvenecerla sellando pequeñas grietas y poros superficiales, o bien producir un puente de adherencia con una nueva carpeta asfáltica que la cubrirá. También puede ser utilizada para sellar (impermeabilizar) la superficie de una carpeta nueva o de un tratamiento superficial de reciente confección.

3.6.2 USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS CON AGREGADOS.

Tratamientos superficiales.

El tratamiento superficial simple consiste en la aplicación de la emulsión sobre una superficie cualquiera de un camino, seguida de una capa de agregado pétreo de un tamaño aproximadamente uniforme. Se pueden hacer dos o tres aplicaciones sucesivas y alternadas de emulsión asfáltica y de agregado pétreo (tratamiento bicapa y tricapa).

Los áridos a emplear en tratamientos superficiales son procedentes de trituración de piedra caliza o grava natural.

Tratamientos antifisuras.

Las fisuras pueden clasificarse por la forma de agruparse, por sus características geométricas y por su origen. Su tratamiento puede hacerse mediante una emulsión asfáltica, esto retarda el nuevo inicio de las fisuras, aunque luego dependerá de la capa de aglomerado que pongamos sobre esta. Las lechadas asfálticas clásicas con emulsiones asfálticas se pueden modificar con la incorporación de fibras para poder incorporar una mayor cantidad del ligante.

En la actualidad se ha desarrollado un geotextil impregnado que sirve como elemento de retención absorbiendo una cantidad de ligante, mientras que el asfalto asegura la estanqueidad, facilita la unión entre las capas y disipa los movimientos horizontales entre los bordes de la fisura. Se utilizan emulsiones catiónicas modificadas.

Lechadas o Slurrys.

Las lechadas asfálticas y los micropavimentos (microsurfacing) son técnicas modernas de tratamientos superficiales. Ambas se pueden usar para procedimientos preventivos o correctivos de la superficie del pavimento. Para aplicarlas comúnmente se utilizan equipos autopropulsados en los cuales se realiza la mezcla de los componentes y su extendido aunque se pueden utilizar mezcladores comunes y extenderlas manualmente.

Las lechadas asfálticas son la combinación de un agregado denso con emulsión asfáltica, agua, filler mineral y aditivos (si son necesarios) la cual es aplicada en una fina capa para recubrir y proteger el pavimento. Esta técnica se puede realizar sobre pavimentos nuevos o ya existentes, sobre asfalto o concretos, así como también sobre bases estabilizadas (por ejemplo suelo-arena emulsión).

El principio de esta técnica consiste en obtener, por la combinación de todos los componentes, una mezcla con la consistencia de una lechada la cual es esparcida sobre el pavimento. Tan pronto como se realiza la mezcla un proceso químico comienza para culminar con el rompimiento de la emulsión y la cohesión de la mezcla.

Reciclados.

El reciclado en frío puede ser realizado mediante emulsiones asfálticas en planta o insitu.

En planta, el reciclado se logra mediante el transporte del material recuperado de un pavimento existente a un depósito central, donde el material se trabaja con una unidad de procesamiento (como un mezclador continuo). In-situ, el reciclado se logra utilizando una máquina recicladora móvil.

Diferentes surfactantes y aditivos son utilizados para variar las dosificaciones de manera de ajustar una emulsión a una aplicación específica. Dado que el tipo de material que se mezcla con la emulsión tiene una gran influencia en la estabilidad (tiempo de quiebre), es importante que al fabricante de la emulsión le sea entregada una muestra representativa del material que debe ser reciclado. Cualquier tipo de filler activo que se debe añadir en conjunto con la emulsión asfáltica debe ser también suministrado para permitir desarrollar y ensayar la formulación correcta de la emulsión.

Las emulsiones asfálticas son susceptibles a la temperatura y presión. Las condiciones que van a hacer que el asfalto se separe de la suspensión (lentamente como “floculación”, o instantáneamente como “quiebre instantáneo”) deben ser claramente entendidas para evitar de que esto ocurra en terreno. De igual manera, el fabricante debe conocer las condiciones predominantes en terreno para permitir una formulación correcta, incluyendo los detalles de todas las bombas

que serán utilizadas para transferir la emulsión entre los estanques y para suministrar la barra con aspersores en la recicladora.

Mezclas asfálticas.

Es la combinación de un árido con un ligante asfáltico, que en una película continua, envuelve todas y cada una de las partículas minerales del árido. Esta mezcla se utiliza en la construcción de pavimentos flexibles de alta calidad, ya sea como bases asfálticas o como carpetas de rodamiento.

Mezclas asfálticas en frío

Las mezclas asfálticas en frío se subdividen en dos grupos según el proceso utilizado para fluidificar el asfalto base:

- Mezclas en frío con asfaltos rebajados
- Mezclas en frío con emulsiones asfálticas

Las mezclas en frío con asfaltos rebajados, son la combinación árido-asfalto que utilizan como ligante un cemento asfáltico rebajado, también conocido como asfalto líquido. Este asfalto se obtiene mediante la adición de asfalto base, de solventes de su misma naturaleza (kerosén, nafta, gasoil).

Las mezclas en frío con emulsiones asfálticas son mezclas árido-asfalto que utilizan como ligante el mismo cemento asfáltico empleado en las mezclas en caliente y en frío con asfalto rebajados, con la diferencia de que éste se encuentra emulsionado en una fase acuosa.

La siguiente tabla muestra los usos generales de tipos y grados normalizados de emulsión asfáltica.

Usos Generales de las Emulsiones Asfálticas																
Tipo de Construcción	ASTM D977										ASTM D2397					
	AASHTO M208										AASHTO M 140					
	RS-1	RS-2	HFRS-2	MS-1, HEMS-1	MS-2, HEMS-2	MS-2h, HEMS-2h	HFMS-2S	SS-1	SS-1h		CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
Mezclas de Asfalto y Agrados:																
Mezcla en Planta (Caliente)						X ^A										
Mezcla en Planta (en Frío)																
Granulometría Abierta					X	X							X	X		
Granulometría Cerrada							X	X	X						X	X
Arena							X	X	X						X	X
Mezclado In-situ																
Granulometría Abierta					X	X							X	X		
Agregado bien Graduado							X	X	X						X	X
Arena							X	X	X						X	X
Suelo Arenoso							X	X	X						X	X
Aplicaciones de Asfalto y Agregado																
Tratamientos Superficiales (Simples y Mult)	X	X	X								X	X				
Sellado con Arena (SandSeal)	X	X	X	X							X	X				
Lechada Asfáltica (SlurrySeal)							X	X	X						X	X
Micro-aglomerado (Micro-Surfacing)																X ^C
Sellado Doble (SandwichSeal)		X	X									X				
Cape Seal		X										X				
Aplicaciones Asfálticas																
Riego Pulverizado (FogSeal)				X ^B				X ^C	X ^D						X ^D	X ^C
Imprimación (Prime Coat)					X ^D			X ^D	X ^D						X ^D	X ^D
Riego de Liga (TackCoat)				X ^B				X ^C	X ^C						X ^C	X ^C
Paliativo de Polvo (Dust Paliativo)								X ^C	X ^C						X ^C	X ^C
Protección con Asfalto (Mulchtreatement)								X ^C	X ^C						X ^C	X ^C
Sellado de Fisuras (Crack filler)								X	X						X	X
Mezclas de Mantenimiento																
Uso inmediato							X						X	X		
Acopio							X									
^A Pueden emplearse otras grados que el HFMS - 2h cuando la experiencia demuestre que han tenido un comportamiento satisfactorio. ^B Diluido en agua por el fabricante ^C Diluido con agua ^D Mezclado solo para imprimación ^E el polímero debe incorporarse durante o previamente a la emulsificación																

Tabla 3-8 Usos Generales de las Emulsiones Asfálticas

Fuente: ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001)

3.6.3 SELECCIÓN DEL TIPO Y GRADO DE EMULSIÓN A UTILIZAR

Los siguientes lineamientos son una guía para seleccionar el tipo y grado de emulsión a utilizar. La primera consideración al elegir el tipo y grado correctos es qué aplicación se dará a la emulsión.

Algunos otros factores que afectan la elección de la emulsión son:

- Las condiciones climáticas previstas para la etapa constructiva.
- Tipo de agregado, granulometría y disponibilidad
- Disponibilidad de los equipos
- Ubicación geográfica.
- Control de tráfico.
- Consideraciones ambientales.

No hay nada que reemplace a la evaluación en laboratorio de la emulsión y del agregado a ser empleados. Un técnico experimentado puede determinar el tipo y cantidad de emulsión a utilizar. Cada grado de emulsión asfáltica ha sido diseñado para usos específicos. Aquí son descritos en forma general.

Emulsiones de Rotura Rápida (Rapid-Setting)

Los grados de rotura rápida se han diseñado para reaccionar rápidamente con el agregado y revertir de la condición de emulsión a la de asfalto. Se usan principalmente para aplicaciones de riego, como tratamientos superficiales, sellados con arena y tratamientos de superficie. Los grados RS-2, HFRS-2 y CRS-2 (de rotura rápida) son de alta viscosidad para evitar el escurrimiento. Versiones de esas emulsiones modificadas con polímeros son usadas rutinariamente cuando se requiere una rápida adhesión, como el caso de áreas de intenso tráfico, cuando el control de tráfico es mínimo o cuando hay cargas pesadas.

Emulsiones de Rotura Media (Medium-Setting)

Las emulsiones de rotura media se diseñan para ser mezcladas con agregados graduados. Debido a que estos grados de emulsiones se formulan para no romper inmediatamente después del contacto con el agregado, ellos pueden utilizarse para recubrir una amplia variedad de agregados graduados. Ejemplos de emulsiones de rotura media son MS-2, CMS 2 y HFMS-2. La nomenclatura de las emulsiones de rotura media varía de estado a estado. Se sugiere consultar con el productor local de emulsiones, el que puede dar recomendaciones al respecto.

La emulsión de alta flotación es una clase especial de emulsión aniónica de rotura media.

La principal diferencia entre ésta y las emulsiones convencionales de rotura media es la existencia de una estructura de gel en el residuo asfáltico, esta estructura es medida en el ensayo de flotación. La característica de flotabilidad aumenta el espesor de la película. Consecuentemente, los residuos asfálticos de alta flotación son menos susceptibles a cambios de temperatura y muy resistentes a fluir a altas temperaturas durante el verano.

Versiones modificadas con polímeros de las emulsiones de rotura media pueden emplearse cuando se requieren estabilidad adicional, mayor durabilidad o cuando es importante una mayor resistencia a la humedad

Emulsiones de Rotura Lenta.

Los grados de rotura lenta se diseñan para lograr mezclas estables. Se emplean con granulometrías cerradas, con alto porcentaje de finos. A los grados de rotura lenta corresponden prolongados períodos de trabajabilidad para asegurar una buena mezcla con agregados de granulometría cerrada. Estas mezclas no se diseñan para ser acopiadas. Todos los grados de rotura lenta tienen baja viscosidad, que puede ser aún más reducida con la incorporación de agua. *Diluidos*, estos grados pueden también ser usados para riegos de liga, riegos pulverizados y como paliativos de polvo.

La coalescencia de las partículas de asfalto de las emulsiones de rotura lenta depende básicamente de la evaporación del agua. Las emulsiones de rotura lenta en aplicaciones de mezcla son empleadas en general para bases de granulometría cerrada, estabilización de suelos, carpetas asfálticas, algunos reciclados y sellados con lechadas asfálticas.

Las emulsiones de rotura lenta modificadas con polímeros, pueden ser utilizadas cuando se requieren una estabilidad adicional de la mezcla o una mayor ligazón, esto último en el caso de riegos de liga o riego pulverizado.

Emulsiones de Rotura Rápida QS y para Micro-aglomerados

Los grados QS se utilizan específicamente para aplicaciones de lechadas asfálticas en las que se necesita un rápido tiempo de curado. Esto permite una más rápida liberación al tránsito que en el caso de emulsiones de rotura lenta para lechadas asfálticas. Las lechadas asfálticas con emulsiones de rotura lenta se diseñan para ser colocadas en un espesor igual al del agregado de máximo tamaño. Las emulsiones para micro-aglomerados están modificadas con polímeros y permiten colocar mezclas en espesores mayores que los de las lechadas asfálticas. Un pavimento de micro-aglomerado puede ser normalmente abierto al tránsito antes de que se cumpla una hora de colocado.

3.7 TIPOS DE MEZCLAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS

Hay tres tipos de mezclas de emulsión asfáltica y agregados: de granulometría cerrada, con arena y de granulometría abierta³. (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001)

Las mezclas de granulometría cerrada están compuestas de agregados graduados desde el máximo tamaño hasta, inclusive, material pasante el tamiz 75 mm (N° 200).

Las mezclas arena emulsión se elaboran tratando, con emulsiones asfálticas, arenas de río, arenas de dunas, arena y gravas pobremente graduadas. Las mezclas con arenas están generalmente limitadas a arenas finas limpias y arenas limosas con bajo contenido de arcilla. Elaboradas con los adecuados grados de emulsiones, las mezclas con arenas han tenido un buen comportamiento como Sub-bases y bases. Para estas mezclas las emulsiones típicamente empleadas son de rotura lenta y de rotura media de alta flotación, preferentemente con grados de mayor dureza o “h”.

Con granulometrías abiertas elaboramos mezclas de alto porcentaje de vacíos, a través de los cuales drena el agua. Estas mezclas han sido utilizadas muy exitosamente tanto para bases como para carpetas de rodamiento. Debido a la relativa sencillez del equipo de planta necesario y a los altos volúmenes de producción posible, estas mezclas son económicamente atractivas cuando se requiere una mezcla de alta calidad para tráfico pesado. En algunos casos, la performance a largo plazo de mezclas abiertas ha sido comparable con la de mezclas asfálticas en caliente.

3.7.1 USOS PRINCIPALES DE MEZCLAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS

El Transportation Research Board (TRB) define estabilización como "la modificación de suelos o agregados mediante la incorporación de materiales, incrementando la capacidad portante, la firmeza y la resistencia al desplazamiento por la acción del clima". La estabilización con emulsión asfáltica es muy adaptable a la construcción por etapas, en la que nuevas trochas o capas se agregan a medida que el tráfico aumenta. Debido a sus propiedades cementantes e impermeabilizantes, la emulsión asfáltica puede ser excelente para estabilizaciones.

Los progresos en la tecnología de emulsiones asfálticas hacen posible el empleo de mezclas con emulsiones con una amplia variedad de aplicaciones en construcción, rehabilitación y mantenimiento de pavimentos. La siguiente tabla enumera los principales usos de las mezclas de emulsiones asfálticas.

³ ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001). Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS N° 19S. Lexington. Página 64

Usos Principales de Mezclas con Emulsiones Asfálticas	
Uso de la Mezcla	Propósito del Tratamiento con Emulsión
Como una ayuda constructiva	Facilitar la construcción del pavimento y en algunos casos proveer una plataforma de trabajo
Mejoramiento del comportamiento de agregados marginales	Mejorar el agregado, alcanzando la calidad de una buena base granular sin tratar
Como una superficie de rodamiento temporaria	Proveer una superficie que puede ser utilizada hasta que se coloca, con carácter de pavimento permanente una mezcla asfáltica en caliente o una mezcla con emulsión de alta calidad.
Reducir el espesor total del pavimento	Incrementar la resistencia de los materiales del pavimento y reducir el espesor necesario de la estructura con respecto al espesor correspondiente a materiales sin tratar.
Mezclas abiertas para carpetas y bases	Producir una mezcla de alta calidad para tráfico muy intenso. Estas mezclas tienen buena flexibilidad y resistencia a la deformación permanente.
Superficie de rodamiento de granulometría cerrada	Producir una mezcla para carpetas estables que no sufrirán ahuellamiento ni desplazamientos
Sub-base de pavimentos	Permitir el uso de agregados de menor calidad para la elaboración de sub-bases aceptables. Para esta aplicación, se pueden usar arenas, arenas limosas y arenas y gravas de pobre graduación,
Mezclas de mantenimiento de uso inmediato y para acopio	Proveer mezclas de bacheo trabajables que pueden ser diseñadas para uso inmediato o para almacenamiento a largo plazo.

Tabla 3-9 Usos Principales de Mezclas con Emulsiones Asfálticas

Fuente: ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001)

3.8 DISEÑO DE MEZCLAS ESTABILIZADAS

En una mezcla asfáltica de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla. Ellos son el método Marshall y el Método Hveem. En el presente estudio sólo trataremos el método Marshall.

Ambos métodos de diseño son ampliamente usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación. La selección y uso de cualquiera de estos métodos de diseño de mezclas es, principalmente, asuntos de gustos en ingeniería, debido a que cada método contiene características y ventajas singulares. Cualquier método puede ser usado con resultados satisfactorios.

3.8.1 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA EN FRÍO

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia las características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las características son:

- Densidad de la mezcla
- Contenido de asfalto.

Densidad

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m³). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio.

Contenido de Asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios sugeridos por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte el contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades

de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla.

3.8.2 PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS EN FRÍO

Las buenas mezclas asfálticas trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas asfálticas en frío. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debidas a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclas más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento.

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

Tabla 3-10 Causas y Efectos de Inestabilidad

Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos

en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos. Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darla al pavimento al máximo impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al agrietamiento o desintegración	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por diseño o a la falta de compactación
Agregados susceptibles al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

Tabla 3-11 Causas y Efectos de una Poca Durabilidad

Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación. Y desintegración de la mezcla
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad

Tabla 3-12 Causas y Efectos de La Permeabilidad

Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura

demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

CAUSAS	EFFECTOS
Tamaño máximo de partícula grande	Superficie áspera, difícil de colocar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable

Tabla 3-13 Causas y Efectos de Problemas en la Trabajabilidad

Flexibilidad

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la sub-rasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las sub-rasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada y bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

Resistencia a la Fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la sub-rasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre sub-rasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre sub-rasantes débiles.

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

Tabla 3-14 Causas y Efectos de una Mala Resistencia a La Fatiga

Resistencia al Deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados debe resistir el pulimento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Tabla 3-15 Causas y Efectos de Poca Resistencia al Deslizamiento

3.9 MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS

El concepto del método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método Marshall es necesario modificarlo para emplearlo con mezclas en frío, como es el caso de las emulsiones asfálticas, está pensado para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de 64 mm (2 1/2") de alto y 102 mm (4") de diámetro. Los dos aspectos principales del método Marshall son la densidad - análisis de vacíos, y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados; cabe mencionar que este proceso de diseño no tiene especificado pruebas para agregados minerales ni para cementos asfálticos.

Este diseño de mezclas esta sugerido por (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001) para mezclas frías con emulsión asfáltica, de granulometría cerrada, con un tamaño máximo del agregado de 25 mm (1 pulgada) o menos y emulsiones de roturas media o lenta. Es aplicable a mezclas elaboradas en el camino o en planta, a temperatura ambiente, y de colocación inmediata o acopio

Al existir una gran variedad de emulsiones, con poco conocimiento de las ventajas de uso de las mismas para ganar tiempo recomienda seguir las sugerencias que se han presentado como criterios generales para la selección de la emulsión asfáltica, pero sin olvidar que puede ser necesario y valioso el criterio personal que puede ser la experiencia de uso en otras aplicaciones similares. Para esta selección de tipo y grado de emulsión deben considerarse no sólo las características del agregado, sino también la del residuo de asfalto - base dura o blanda, contenido de solvente, modificación con polímeros y la velocidad de curado de la emulsión (rotura media o lenta).

La carencia de un método universalmente aceptado para el diseño de mezclas en frío de emulsión asfáltica y agregados, sean aquellas de granulometría cerrada o de granulometría abierta ha permitido gran cantidad de variaciones basadas en métodos empíricos, sin comprobarse cuál es el mejor método de diseño, basándose más en disponibilidad de equipo de diseño, experiencia y conocimiento . Sin embargo, casi todos los métodos para mezclas cerradas son modificaciones del método de ensayo de Hveem (ASTM D 1560 y 1561 ó AASHTO T 246 y 247) o del método de ensayo Marshall (ASTM D 1559 ó AASHTO T 245).

Para las mezclas de agregado - emulsión es necesario un diseño. Es esencial preparar en el laboratorio mezclas de prueba para determinar el grado y porcentaje de emulsión y las propiedades de trabajabilidad, estabilidad y resistencia del sistema. Debería determinarse la susceptibilidad de la mezcla con emulsión al daño por agua.

De manera general para el diseño de este tipo de mezclas de agregado – emulsión se siguen los siguientes pasos:

- Estudio de los Agregados a utilizar
- Selección del tipo de Emulsión y grado de emulsión a utilizar
- Determinación del contenido tentativo de asfalto
- Determinación de la cantidad de agua ensayo de Recubrimiento y Adhesión
- Determinación del contenido óptimo de emulsión mediante el diseño Marshall modificado para emulsiones

3.9.1 AGREGADOS

Los agregados de granulometría cerrada que cumplen los requerimientos de la siguiente tabla se cuentan entre los adecuados para mezclas con emulsiones asfálticas.

Para el caso de granulometrías con contenidos apreciables cantidades de finos puede ser necesario, previamente a la compactación, airear o secar el material.

Tamaño del tamiz		Mat. Semi - procesado de trituración, de cantera o de río	Granulometrías para Mezclas Asfálticas Cerradas, porcentaje pasante en peso				
50 mm	2 pulg	-	100	-	-	-	-
37.5 mm	1 1/2 pulg	100	90-100	100	-	-	-
25 mm	1 pulg	80-90	-	90-100	100	-	-
19 mm	3/4 in	-	60-80	-	90-100	100	-
12.5 mm	1/2 pulg	-	-	60-80	-	90-100	100
9.5 mm	3/8 pulg	-	-	-	60-80	-	90-100
4.75mm	No 4	25-85	20-55	25-60	35-65	45-70	60-80
2.36 mm	No 8	-	10-40	15-45	20-50	25-55	35-65
1.18 mm	No 16	-	-	-	-	-	-
600 µm	No 30	-	-	-	-	-	-
300 µm	No 50	-	2-16	3-18	3-20	5-20	6-25
150 µm	No 100	-	-	-	-	-	-
75 µm	No 200	3-15	0-5	1-7	2-8	2-9	2-10
Equivalente de arena. En%		mín. 30	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35
Ensayo Los Ángeles. @ 500rev.		-	máx. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40
Porcentaje de caras trituradas		-	mín. 65	mín. 65	mín. 65	mín. 65	mín. 65

Tabla 3-16 Agregados para Mezclas con Emulsión de Granulometría Cerrada

Fuente: ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001)

Como se puede ver la tabla anterior contiene una clasificación para material Semi - procesado de trituración, de cantera o de río, que es muy compatible con el material granular propuesto por el MOP para la estabilización con emulsión asfáltica y con el material obtenido para la investigación. Los siguientes ensayos deben ser ejecutados sobre las fuentes de agregado obtenidas de una cantera:

- **Análisis por tamizado de agregado fino y grueso** (*Fue detallado en el capítulo 2*)
- **Peso Específico – Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso y Agregado fino**

La gravedad específica es la relación entre la densidad del material y la densidad del agua. De acuerdo a la condición de humedad del agregado la gravedad específica se determina en condición seca o saturada con superficie seca (SSS). Esta información nos permite hacer una relación entre el peso de los agregados y el volumen que ocupa dentro de la mezcla. En los trabajos con hormigón, el término gravedad específica se refiere a la densidad de la partícula individual y no a la masa de agregado como un entero.

La capacidad de absorción se determina encontrando el peso de un agregado bajo condición saturada (SSS) y en condición seca. La diferencia en pesos expresada como porcentaje del peso seco es la capacidad de absorción. Esta información se requiere para balancear las necesidades de agua en la mezcla de hormigón.

El peso unitario de un agregado nos da una medida de los vacíos en un volumen unitario de agregado. Este valor es necesario para determinar la cantidad de agregado grueso que puede ser acomodado en una mezcla de hormigón. Los vanos en los agregados dependen de varios factores como: tamaño, forma, textura de superficie, granulometría y compactación. Para nuestro trabajo utilizaremos agregados secos y compactados.

Cuando se calcula el peso unitario de un agregado usualmente se expresa en libras por pie cúbico. Este método se aplica en agregado grueso, fino o en una combinación de agregados.

AGREGADO GRUESO

La gravedad específica de masa, gravedad específica aparente y el porcentaje de absorción se calculan mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{Gravedad Específica de Masa (seca)} = \frac{A}{B - C}$$

Dónde:

A = Peso de la muestra secada al horno, gramos

B = Peso de la muestra SSS, gramos

C = Peso de la muestra sumergida en agua, gramos

$$\text{Gravedad Específica de Masa (SSS)} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Gravedad Específica de Aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100\%$$

AGREGADO FINO

La gravedad específica de masa seca, gravedad específica de masa SSS, gravedad específica aparente y la absorción, se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Gravedad Específica de Masa (seca)} = \frac{A}{B + 500 - C}$$

Dónde:

A = Peso de la muestra secada al horno, gramos

B = Peso del frasco (picnómetro) con agua, gramos

C = Peso del frasco + la muestra + el agua, hasta la marca de calibración

500 = Peso de agregado fino saturado usado en gramos

$$\text{Gravedad Específica de Masa (SSS)} = \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$\text{Gravedad Específica Aparente} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{500 + A}{A} \times 100$$

Estos resultados se utilizan para todo diseño de mezcla, ya sea de hormigón o asfalto.

Emulsiones Asfálticas

Para producir mezclas en frío de granulometría cerrada, se emplean dos tipos de emulsiones asfálticas: de rotura lenta (SS) y de rotura media (MS).

Las emulsiones asfálticas de rotura media se emplean normalmente para el caso de agregados que no poseen excesiva cantidad de material pasante el tamiz N° 200 (75 um) y/o el caso en que se desea acopiar la mezcla. A la inversa, las emulsiones de rotura lenta normalmente se utilizan con agregados con altas cantidades de material pasante el tamiz N° 200 (75um) y para mezclas no destinadas a acopio.

3.9.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TENTATIVO DE EMULSIÓN

Hay varios procedimientos disponibles para determinar el punto de partida para el contenido tentativo de emulsión en función del contenido de cemento asfáltico de una mezcla, para este procedimiento de diseño, se utilizan dos simples métodos empíricos muy difundidos y aplicados con gran éxito.

Método Francés

El método Francés o propuesto por Duriez, realiza un cálculo del área superficial de los áridos, basado en la granulometría.

Para determinar el área específica de los agregados, Duriez calcula la contribución de cada fracción expresándola en m²/Kg, en función del tamaño máximo de los elementos mayores, en mm. Y el tamaño máximo de los elementos menores, en mm.

La determinación de la Superficie específica de forma simplificada se determina con la siguiente fórmula

$$SE = \frac{1}{100} \times (0.237 G + 1.60 g + 12.85 A + 117.8 F)$$

Dónde:

SE = Área Superficial o Superficie Específica

G = Porcentaje de elemento agregado que pasa sobre el tamiz 3/4 y el tamiz N° 4

g = Porcentaje de elemento agregado que pasa sobre el tamiz N° 4 y el tamiz N° 40

A = Porcentaje de elemento agregado que pasa sobre el tamiz N° 40 y el tamiz N° 200

F = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 200

La suma de estos porcentajes es, obviamente, igual a 100, es decir:

$$G + g + A + F = 100 \%$$

Con el valor de la Superficie Específica se ingresa a la gráfica propuesta por Duriez que evita el cálculo por medio de fórmulas, para determinar el Porcentaje de Cemento Asfáltico.

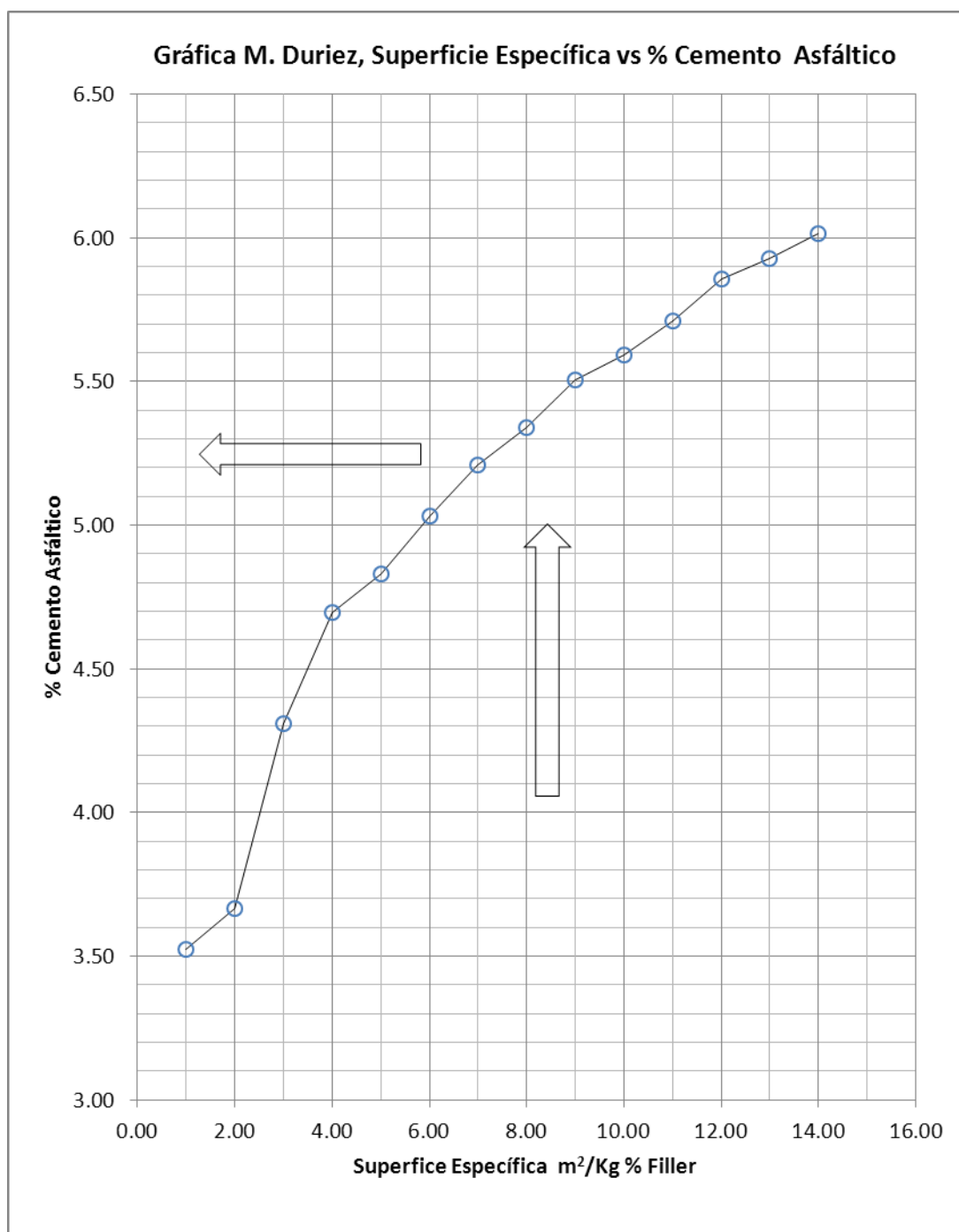


Figura 3-6 Gráfica Superficie Específica Vs % Cemento Asfáltico, M. Duriez.

El contenido de Cemento Asfáltico se obtiene de la siguiente manera: partes en peso de cemento asfáltico para 100 partes en peso de agregados secos.

Transformado a emulsión del X% de residuo asfáltico, sería:

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{\% \text{ Cemento Asfáltico} \times 100}{X\% \text{ Residuo Asfáltico}}$$

Este valor, así calculado, sirve como punto de partida para la formulación del producto que se desee buscar.

Se deben ensayar valores en un entorno del mismo, de modo de definir el óptimo a través de los ensayos.

La desventaja de utilizar este método es que no toma en cuenta la absorción de los agregados que tiene gran relación con el consumo de emulsión asfáltica, además los resultados son aplicables al diseño de carpeta asfáltica.

Método del Instituto del Asfalto (USA)

Este método es propuesto por el instituto del Asfalto de Estados Unidos, es diseñado Busca encontrar el porcentaje de cemento asfáltico respecto a la mezcla, para esto se fundamenta en porcentajes de agregado retenidos y pasantes sobre aberturas de tamices, estos porcentajes son afectados con coeficientes obtenidos por estudios.

La ventaja de uso de estos métodos es la inclusión del grado de absorción de los agregados.

El porcentaje cemento asfáltico se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$P = 0.035 \times a + 0.045 \times b + k \times c + K$$

Dónde:

P = Porcentaje de cemento asfáltico respecto al peso de la mezcla

a = Porcentaje de agregado retenido en el tamiz N° 10

b = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 10 y se retiene en el tamiz N° 200

c = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 200

k = Toma los siguientes valores:

0.20	Cuando el porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 200 varía del 11% al 15%
0.18	Cuando el porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 200 varía del 06% al 10%
0.15	Cuando el porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 200 es menos del 05%

K = Varía de 0 a 2, dependiendo del grado de absorción de los pétreos.

Alta absorción: K = 2

El porcentaje de Cemento Asfáltico se obtiene de la siguiente manera: partes en peso de cemento asfáltico para 100 partes en peso de agregados secos.

Transformado a emulsión del X% de residuo asfáltico, sería:

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{\% \text{ Cemento Asfáltico} \times 100}{X\% \text{ Residuo Asfáltico}}$$

La fórmula expuesta es la aplicable directamente al diseño de carpeta asfáltica; como se conoce la carpeta asfáltica sufre la influencia directa de los agentes atmosféricos y las cargas de tráfico. La base en cambio presenta una menor influencia de los agentes y del tráfico, por esto se le asigna menores requerimientos, y eso influye en la cantidad de emulsión que va a ser diferente a la utilizada en la fabricación de carpetas asfálticas que se considerara como valores máximos.

La base estabilizada con emulsión asfáltica en cambio se diseña a valores requeridos por las necesidades estructurales.

En la publicación Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS N° 19S (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001), se ha tomado en cuenta el caso particular de la estabilización de bases y propone el uso de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{[(0.06 \times B) + (0.01 \times C)] \times 100}{A}$$

Dónde:

% Emulsión = Porcentaje inicial estimado de emulsión asfáltica, expresado en función del peso seco del agregado

A= Porcentaje de Asfalto Residual de la Emulsión

B = Porcentaje de agregado seco que pasa el tamiz N° 4 (4.75 mm)

C= 100- B = Porcentaje de agregado seco retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm)

3.9.3 ENSAYO DE RECUBRIMIENTO Y ADHESIÓN

La selección del tipo y grado de emulsión asfáltica para ser usada en un proyecto particular se basa en gran parte en la capacidad de la emulsión para recubrir adecuadamente el agregado de trabajo. Algunos factores que afectan la selección son:

- Tipo de agregado
- Gradación del agregado y características de los finos
- Contenido de agua del agregado
- Disponibilidad de agua en el sitio de la construcción.

Más de un tipo de emulsión es a menudo aceptable para un agregado dado, la selección debe basarse en las propiedades de la mezcla determinadas por comparación con otros tipos de mezcla. Otros factores adicionales que no pueden ser evaluados en el momento del diseño de la mezcla pero que deben ser tenidos en cuenta en el momento de la construcción son:

- Clima anticipable durante el tiempo de construcción.
- Tipo y proceso de mezcla
- Selección del equipo de construcción y procedimiento de campo usado.

El ensayo de recubrimiento se realiza mezclando el agregado con una cierta cantidad de agua y emulsión en donde se estima visualmente el recubrimiento como porcentaje del área total. La habilidad de una emulsión para recubrir un agregado es usualmente afectado por el contenido de agua de pre mezcla en el agregado, las mezclas para carpeta normalmente requieren mayor grado de recubrimiento que las mezclas para base.

Esto es especialmente cierto para agregados que contiene un alto porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200, donde insuficiente agua de pre mezcla resulta en una aglutinamiento del asfalto con los finos y por lo tanto un recubrimiento insuficiente. Por esta razón el ensayo de recubrimiento se ejecuta a diferentes contenidos de agua del agregado. Las emulsiones que no cumplan con el ensayo de recubrimiento no serán usadas posteriormente.

En muchos países se toma el resultado de humedad del ensayo Próctor Modificado T-180 como una medida de la cantidad máxima de agua que se debe agregar para el recubrimiento y sugiere porcentajes menores de humedad.

Preparación de los Especímenes de Ensayo

Prepare tres o más probetas, para cada uno de los diferentes contenidos de emulsión mínimo tres, uno por encima del contenido de prueba y otro por debajo.

En muchos lugares es importante la resistencia a la presencia de humedad, para estos casos se evalúa el porcentaje de pérdida de estabilidad, siendo necesaria la fabricación para cada contenido un mínimo de seis probetas.

Si la mezcla en el ensayo de recubrimiento parece seca, comience con el contenido de emulsión de prueba y aumentelo para cada uno de las dos mezclas restantes. Inversamente, si la mezcla en el ensayo de recubrimiento parece rica, reduzca el porcentaje de emulsión para las dos mezclas restantes. Una diferencia normal entre los contenidos de emulsión es de 1%, ó 0.65% en el contenido de residuo asfáltico para una emulsión con un residuo del 65%.

Procedimiento de Compactación

A menudo y previamente a la compactación, es necesario airear o secar la mezcla. En el momento en que el volumen de líquido total (emulsión + agua en el agregado) excede los vacíos en el agregado mineral más cualquier volumen de líquido absorbido, no se puede lograr una

compactación adecuada. Esta condición puede ser detectada si el martillo del método Marshall rebota y/o el espécimen exuda líquido. Cuando esta condición se da, coloque la mezcla en una bandeja y utilice un ventilador y remueva ocasionalmente la mezcla para reducir el contenido de humedad, de modo que pueda lograrse una compactación apropiada. Siempre utilice un nuevo pastón y no aquel que no pudo ser compactado satisfactoriamente.

Limpie completamente el molde para el espécimen y la cara del martillo de compactación. Coloque un disco de papel en el fondo del molde antes de volcar la mezcla. Coloque la totalidad del pastón dentro del molde y con una espátula aplique vigorosamente 15 golpes alrededor del perímetro y 10 golpes en el interior del molde. Con la espátula, alise la superficie de la mezcla dándole una forma ligeramente redondeada.

Coloque el molde sobre el pedestal, trábelo y aplique 50 o 75 golpes con el martillo de compactación con una caída libre de 457.2 mm (18.0 pulgadas) según sea el diseño. Quite la base del molde y el collar e invierta el espécimen moldeado, re-ensamblando el molde. Aplique otros 50 o 75 golpes de compactación. Esta vez sobre la cara libre del espécimen invertido

Retire la base, el collar y los discos de papel y coloque el molde, con el espécimen compactado en su interior.

La AEMA recomienda como una medida de la compactibilidad un método presentado como propuesta de norma en ASTM. Las probetas son formadas por compactación Marshall permitiendo un curado parcial durante 48 horas a 60 °C y re compactado a 60°C con una carga estática 178N (40.000 lbs.) usando el método de doble PLUNGER;

Los especímenes se pueden compactar con el Martillo Marshall, con el compactador de amasado, por acción doble del pistón con carga estática (compresión uniaxial) o una combinación de uno o más métodos. Por ejemplo, en el método de Dybalski, los especímenes se preparan con el Martillo Marshall y con el compactador de California en la mezcla recién amasada, luego se les realiza un curado en el molde de 48 horas a 60 °C, se re compacta con el método de acción doble del pistón a la misma temperatura 60 °C.

Un método desarrollado en Canadá, el re compactado se realiza con el martillo Marshall. La idea es que los especímenes re compactados representan al material después de que ha pasado el tránsito y contiene los vacíos de aire similar a los encontrados en los núcleos extraídos del campo.

El mismo curado parcial de 48 horas en el molde ha sido utilizado en el método de McConahaughy (sin el paso de re compactación) para proveer a los especímenes con una resistencia temprana, es decir, la que representa el estado inmediatamente después de la compactación en el sitio.

Se han utilizado otros métodos de curado para alcanzar las propiedades “finales” para los ensayos de desempeño, por ejemplo, 3 días a 50 °C o 2 días a 60 °C, entre otros. También se ha utilizado desecación con vacío a temperatura ambiente para alcanzar el curado. (JIMÉNEZ ACUÑA, SIBAJA OBANDO, & MOLINA ZAMORA, 2008)

Para algunas mezclas, puede ser necesario empujar el espécimen hacia abajo nivelándolo con el fondo del molde, de mezcla que el estante de la estufa lo soporte durante el curado.

Luego del procedimiento de curado, deje enfriar el espécimen en el molde durante una hora como mínimo, previamente a su desmolde para ser ensayado.

3.9.4 ENSAYO DE LOS ESPECÍMENES COMPACTADOS

Si se desea, partiendo de los especímenes compactados se pueden determinar los valores aproximados de los parámetros volumétricos y de la estabilidad, los parámetros volumétricos a menudo no son evaluados; se los calcula sólo como aproximaciones debidas a la posibilidad de que haya algo de humedad en los especímenes compactados, curados y al gran número de especímenes necesarios para valores más exactos. Si se desean valores más precisos, debe tenerse en cuenta la humedad existente en los especímenes compactados y la máxima densidad teórica debe ser determinada con una mezcla suelta, libre de humedad.

3.9.5 PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO).

Posterior a la preparación y compactación de las briquetas de emulsión asfáltica más agregado con el procedimiento de ensayo Marshall para mezclas en caliente se determinaran los valores volumétricos, valores de la estabilidad y fluencia.

El método Marshall al ser un método para mezclas asfálticas en caliente, debe modificarse para la adaptación con mezclas frías, uno de las propuestas de cambio es la siguiente:

Se sugieren 2 métodos para la evaluación de las propiedades volumétricas de los especímenes compactados el primero o más general

CASO GENERAL

Este es el método más utilizados por su simplicidad consiste en obtener una densidad denominada densidad bruta (Bulk density) que es el resultado de dividir el peso del espécimen en el aire para el volumen calculado teniendo las dimensiones geométricas.

La razón del uso de esta densidad está fundamentada en comprobar la validez de la compactación de briquetas, se comprueba que las briquetas sean similares

$$D_b = \frac{W_a}{(H \times A)}$$

Dónde:

D_b = Densidad bruta (medida) de un espécimen de mezcla compactada

W_a = Peso, en aire del espécimen compactado

H = Altura del espécimen compactado

A = Altura de la selección transversal de un espécimen compactado, se lo obtiene de la fórmula $(\pi \times r^2)$

CASO ESPECIAL

Otros parámetros volumétricos en caso de ser necesarios requeridos por normas como porcentaje de vacíos, vacíos ocupados con asfalto y vacíos en el agregado mineral, etc. se los puede determinar de manera correcta teniendo en cuenta la humedad y siguiendo apropiadamente los procedimientos de ensayo ASTM, incluyendo las normas D70, D 1188, D 2041, D 2727 y D 3203.

3.10 ENSAYO DE ESTABILIDAD

Estabilidad modificada y fluencia:

Luego de determinar los parámetros volumétricos de las 6 probetas, para un contenido de emulsión, se evalúa la estabilidad y la fluencia a tres de ellos según Método Marshall siguiendo los procedimientos de ASTM D 1559 comenzando en el párrafo 5 (Procedure Procedimiento). Para la mayoría de los pavimentos con bajos a medianos volúmenes de tráfico, se ha encontrado que una estabilidad de 2224 N (500 libras) o mayor es satisfactoria. La experiencia local puede justificar un diferente valor mínimo de estabilidad.

Se utilizan las probetas que conservan una densidad Bulk similar. Se deben considerar los siguientes factores:

- La temperatura de la probeta debe mantenerse utilizando un baño de agua 25 ± 1 °C (77 ± 1.8 F).
- Durante el ensayo la tasa de deformación debe ser de 50,8 mm (2 pulg) por minuto hasta que la probeta falle.
- Registrar la fluencia en unidades de 0,25 mm. (0,01 pulg)

Estabilidad saturada y fluencia:

Las tres probetas restantes se someterán al ensayo de estabilidad y fluencia luego de ser sometidas a un proceso de saturación en agua.

- Luego se coloca la probeta en agua para su saturación durante 4 días (SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES;).
- Realizar el ensayo de estabilidad modificada y fluencia de igual manera que la estabilidad modificada

Corrección de los valores de Estabilidad

Los valores obtenidos para aquellas muestras que no tengan exactamente la altura 2.5” deben corregirse, aplicando factores de corrección. En base al volumen de la briqueta (h), se calcula la estabilidad corregida de acuerdo a la siguiente tabla:

Volumen del Especimen	Altura Aproximada (h) del Especimen		Factor de Corrección
	Mm	Pulgadas	
457 a 470	57.2	2 1/4	1.19
471 a 482	58.7	2 5/16	1.14
483 a 495	60.3	2 3/8	1.09
496 a 508	61.9	2 7/16	1.04
509 a 522	63.5	2 1/2	1.00
523 a 535	64.0	2 9/16	0.96
536 a 546	65.1	2 5/8	0.93
547 a 559	66.7	2 11/16	0.89
560 a 573	68.3	2 3/4	0.86

Tabla 3-17 Factores de corrección de Estabilidad Marshall

Fuente: ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001)

NOTAS:

1. La medida de la estabilidad de espécimen multiplicado por el espesor del espécimen es igual a la estabilidad corregida para un espécimen de 63.5 mm (2 1/2 pulgadas)
2. La relación de volumen – espesor (h) es basada en un diámetro del espécimen de 101.6 mm (4 pulgadas)

Los valores de Estabilidad corregida para grupo de muestras elaboradas con el mismo contenido de asfalto, se promedian, tomándose dicho promedio como valor de estabilidad para ese contenido de asfalto para ser graficado.

Debe excluirse del promedio aquel valor que se encuentre notoriamente alejado de los demás.

Los valores de flujo obtenidos para todas las muestras elaboradas con determinado contenido de asfalto, se promedian, deberá también descartarse aquel valor que difiera notablemente del promedio si lo hay

CÁLCULOS

La estabilidad, fluencia y densidad Bulk se analizan como sigue:

- a) Prepare los siguientes gráficos:
 - a. Estabilidad seca y saturada v/s Contenido de Emulsión
 - b. Porcentaje de pérdida de estabilidad v/s Contenido de Emulsión Asfáltica

Porcentaje de Pérdida de Estabilidad

$$= \left(\frac{\text{Estabilidad Seca} - \text{Estabilidad Saturada}}{\text{Estabilidad Saturada}} \right) \times 100$$

- b) Densidad Bulk Seca v/s Contenido de Emulsión Asfáltica
- c) En cada gráfico, conectar los puntos por medio de una curva suavizada que se ajuste de mejor forma a cada uno de los resultados.

Contenido óptimo de asfalto:

Se define como contenido óptimo de asfalto residual aquel que provee la máxima estabilidad requerida, pero que se ajusta adecuadamente a la pérdida de estabilidad y al porcentaje de cubrimiento de los áridos.

Si no se logra determinar un óptimo en las propiedades evaluadas, el valor óptimo debe ser definido según la mejor combinación de la estabilidad Marshall (seca y saturada), la pérdida de estabilidad y la densidad Bulk seca, tomando especial atención en los efectos del agua en las propiedades de las probetas.

Criterios de diseño:

En nuestro medio el MOP sugiere se cumpla para bases estabilizadas con emulsión Asfáltica la totalidad de los siguientes criterios de diseño que se presentan en la siguiente tabla:

Estabilidad	Flujo
Marshall	(1 / 100")
750 lbs. Min	5 – 18

Tabla 3-18 Criterios de Diseño para Bases Estabilizadas con Emulsión Asfáltica

Fuente: MOP-001-F-2002. (2002).

Al respecto el Instituto del Asfalto en su publicación MS 14 propone como valores mínimos para mezclas densas con emulsión asfáltica los siguientes valores:

Propiedad a evaluar	Especificación
Estabilidad a $22 \pm 1^\circ\text{C}$	2.22 (kN) / 500 lib min mínimo (tráfico ligero)
Porcentaje de pérdida de Estabilidad	50 máximo
Recubrimiento del agregado (%)	50 mínimo

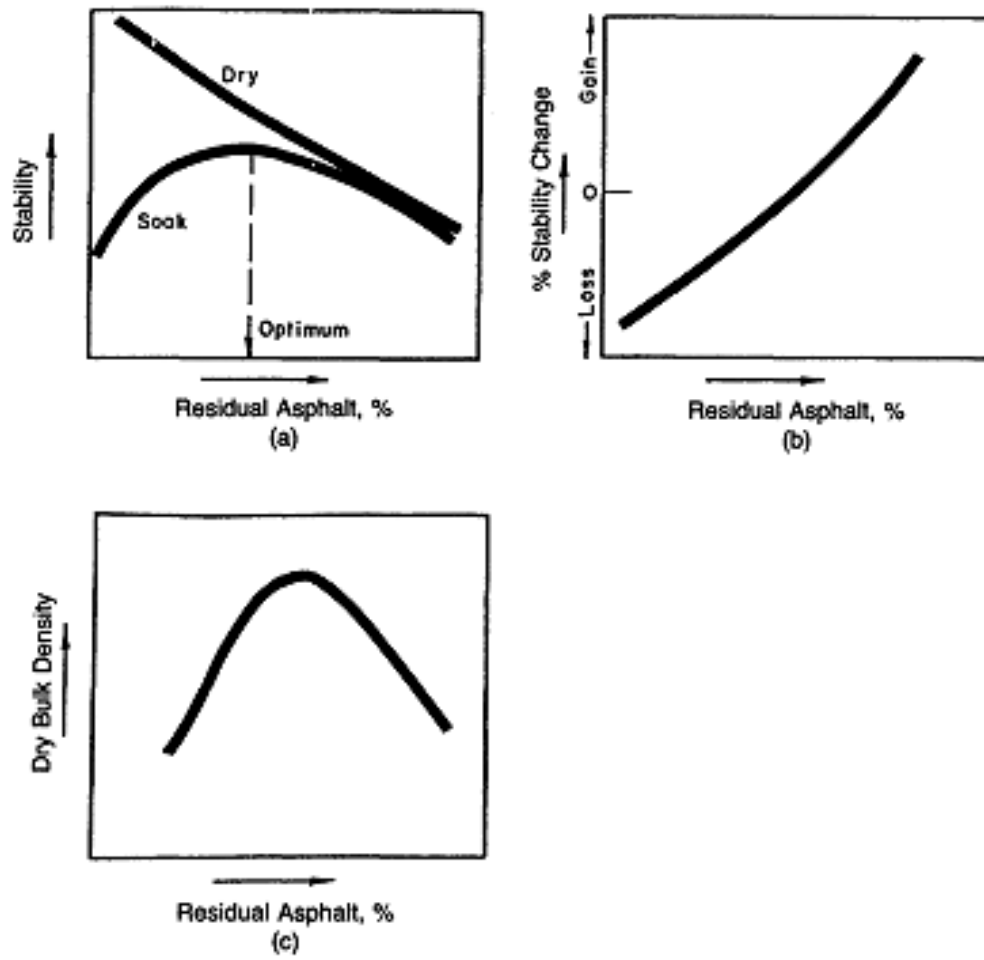
Tabla 3-19 Requerimientos para mezcla asfáltica con granulometría densa y emulsión asfáltica

Fuente: ASPHALT INSTITUTE. (s.f.). Manual Serie N° 14, MS 14.

Tendencias de los gráficos resultantes

Las curvas típicas obtenidas deben tener las siguientes tendencias:

- Estabilidad saturada generalmente mostrará un punto alto para un contenido particular de asfalto residual o emulsión Asfáltica mientras que la estabilidad seca generalmente mostrará un decrecimiento continuo a medida que el contenido de asfalto residual o Emulsión aumenta.
- El porcentaje de pérdida de estabilidad generalmente decrece a medida que el contenido de asfalto residual o emulsión aumenta.
- La densidad Bulk seca usualmente presenta un punto alto para un contenido particular de asfalto residual o emulsión Asfáltica.



d)

Figura 3-7 Curvas típicas Obtenidas con mezclas de emulsión asfáltica y agregados (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001)

CAPÍTULO IV

4 PRUEBAS DE LABORATORIO, CONTROL DE CALIDAD Y ACEPTACIÓN DE LOS MATERIALES

En este capítulo se describirá los procedimientos realizados con los materiales en el laboratorio hasta conseguir la estabilización del material con emulsión Asfáltica.

Previo a la realización de los ensayos se describirá de manera general los materiales utilizados en la investigación. El agregado Fino y grueso proveniente de las canteras y la emulsión.

Agregados Fino y Grueso

Los agregados utilizados son procedentes de la Cantera Corazón ubicada en Pomasqui y de la Cantera Rosita ubicada en la Mitad del Mundo.

Las dos canteras producen materiales triturados y cribados, en nuestro medio la forma de comercialización es como ripio y arena, por esto fue necesaria la conformación de mezclas que cumplan granulometrías.

El resultado de la trituración da diferentes tamaños de agregados, pero para bases se utilizó material de máximo 1 pulgada.

La ubicación de las Minas se encuentra en la Figura 4 – 1, donde se ubica mediante Google Earth el lugar donde se obtuvo los materiales utilizados para formar las Bases Estabilizadas con Emulsión Asfáltica.

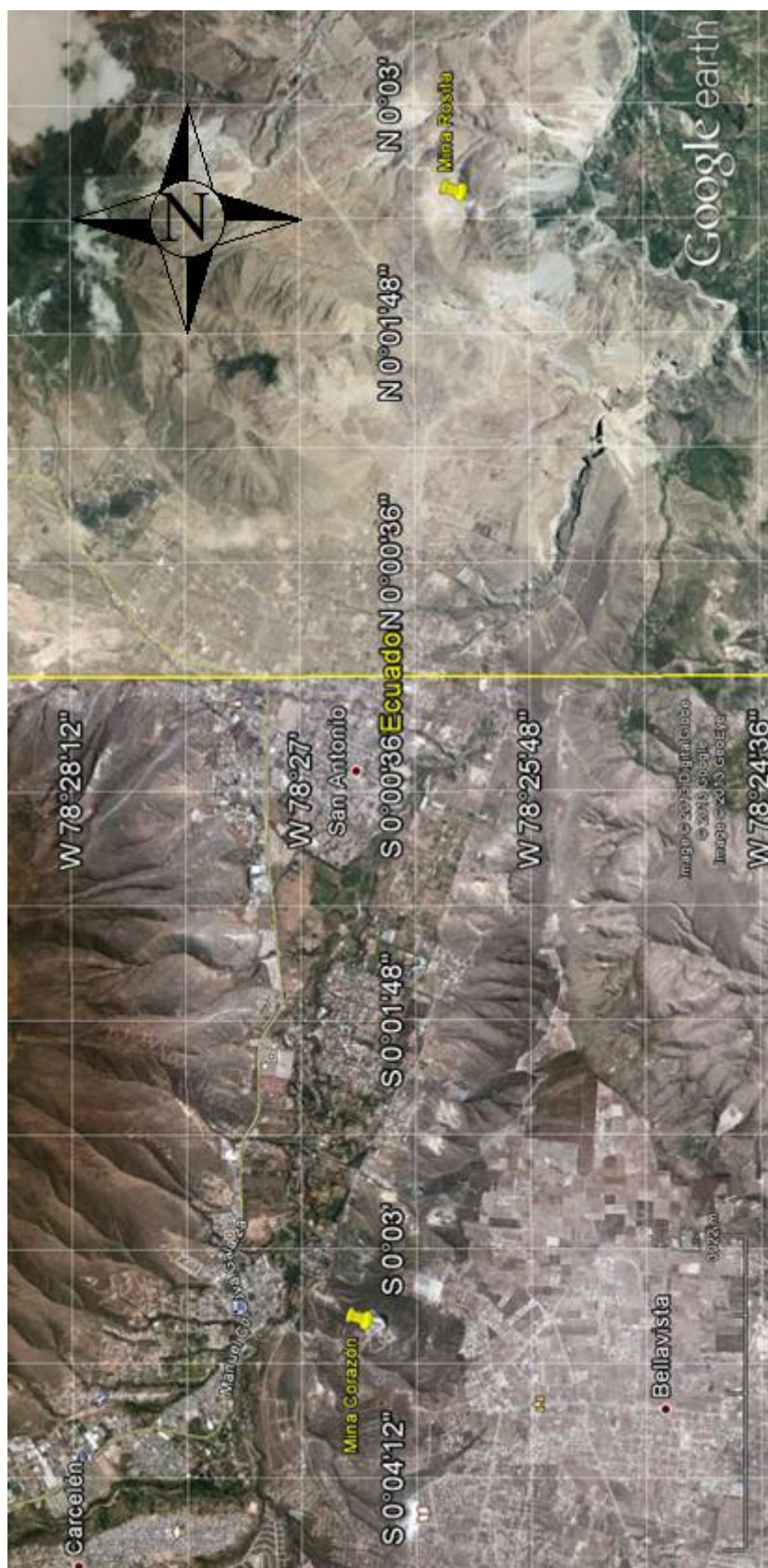


Figura 4-1 Ubicación de las Minas Corazón y Rosita (WWW.GOOGLE.COM, 2012)



Fotografía 4-1 Cribadora de Material (Mina Corazón)



Fotografía 4-2 Cribadora y Trituradora (Mina Rosita)

Emulsión Asfáltica

La emulsión Asfáltica utilizada para la estabilización de bases es la Emulsión Catiónica CSS-1h

Productor: CHOVA

Certificado de Ensayo: Se adjuntan en la siguiente tabla (Para el diseño se adoptará porcentajes de constitución de la emulsión 60% de Cemento Asfáltico y 40% de Agua).

	Laboratorio de Inspección y Ensayo			Código	CDQ-03.03
				Revisión:	2
	Producto Terminado			Fecha:	2003-Jun-09
				Referencia:	IT-CDQ-03-32
				Número	52
Producto :	EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIONICA		Tipo:	CSS-1 h	
Norma:	NTE INEN 2062:96		H.P. :	52-04-E	
Fecha :	17/05/2012		H.C.C. :	52	
Norma	Características	Unidad	Especificación	Resultado	Observaciones
INEN 901	Residuo por Destilación	%	57 – 64	62,22	cumple
INEN 904	Mezcla con Cemento	%	< 2	1,2	cumple
INEN 908	Carga de Partículas	-	Positiva	Positiva	cumple
INEN 909	Asentamiento 5 días	%	< 5	4,08	cumple
INEN 910	Estabilidad de Almac. 24 h	%	< 1	0,79	cumple
INEN 917	Penetración en el residuo	1/10 mm	40 – 90	51	cumple
INEN 906	Prueba del Tamiz # 20	%	< 0.1	0.008	cumple
INEN 1981	Viscosidad Saybolt Furol	SSF	20- 100	24	cumple
OBSERVACIONES					
La gravedad específica del material es de 1.007 Gr/cm3					
El material cumple con especificaciones del IT - CDQ - 03 -32 Se acepta el lote					

Tabla 4-1 Certificado Emulsión CSS-1h

Fuente: CHOVA; Laboratorio de Ensayo. (2012)

4.1 ENSAYOS SOBRE LOS AGREGADOS

4.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASSHTO T-27)

La granulometría es la distribución de las partículas de un material de acuerdo a su tamaño. Esta se determina mediante el tamizado o paso del agregado por mallas de distinto diámetro hasta el tamiz N° 200 (de diámetro 0.074 mm.), considerándose el material que pasa dicha malla en forma global.

El resultado del análisis granulométrico es una curva granulométrica, donde se gráfica: diámetro de tamiz vs porcentaje acumulado que pasa o que retiene el mismo, de acuerdo al uso que se quiera dar al agregado. (El ensayo para las bases estabilizadas con emulsión asfáltica se realizó en el CAPÍTULO 2)

4.1.2 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-127)

OBJETIVO

Determinar el Peso Específico y la Absorción de los Agregados Finos y Gruesos que conforman la Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica.

EQUIPO

1. Balanza, con suficiente capacidad para soportar el peso de la muestra y sensible a 0.5 gr.
2. Cesta metálica cilíndrica, hecha con malla metálica con abertura suficiente que permita el paso de agua y no el material, de preferencia debe retener partículas mayores al tamiz N° 4.
3. Envase para sumergir completamente la cesta, con un alambre o cordel para conectar la balanza con la cesta.
4. Horno capaz de mantener la temperatura a 110 °C

PROCEDIMIENTO

1. Se lava la muestra y se pone a secar en horno a 110 °C hasta conseguir un peso constante. Se pone a enfriar a temperatura ambiente y se sumerge en un depósito con agua por 2-4 horas, para conseguir su saturación.
2. Pasado el tiempo de saturación, se le evacua el agua, y se le va quitando humedad con una tela adecuada hasta alcanzar que toda su superficie quede sin agua, pero no seca, sino opaca (estado saturado superficialmente seco).



Fotografía 4-3 Lavado de Agregado Grueso para ensayo de Peso Específico y Absorción

3. Se registra el peso del material en estado saturado superficialmente seco, con aproximación de 0.5 gr.
4. Se coloca la muestra pesada en la cesta metálica y se determina el peso de la muestra sumergida totalmente dentro del recipiente, ensamblando la cesta a la balanza. Se cuidara de forma especial que no se pierda absolutamente nada de muestra del material que se pesó en estado saturado superficialmente seco, porque el resultado no sería válido.
5. Se coloca la muestra en horno a 110 °C para secarla por 24 horas hasta que el peso sea constante, se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente por 1 a 3 horas y se registra su peso.



Fotografía 4-4 Peso Sumergido de Agregado Grueso para ensayo de Peso Específico y Absorción

CÁLCULOS

Se utiliza las siguientes fórmulas

$$\text{Gravedad Específica de Masa (seca)} = \frac{A}{B - C}$$

Dónde:

A = Peso de la muestra secada al horno, gramos

B = Peso de la muestra SSS, gramos

C = Peso de la muestra sumergida en agua, gramos

$$\text{Gravedad Específica de Masa (SSS)} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Gravedad Específica de Aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100\%$$

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ASTM C-128)

El material se considera como fino cuando pasa el tamiz N°4. Es importante deshacer los terrones si existieran para que pase el tamiz N°4, y la muestra sea representativa.

EQUIPO

1. Balanza, con capacidad suficiente que soporte el peso de la muestra y sensible a 0.5 gr.
2. Picnómetro con capacidad de 500 ml.
3. Molde cónico metálico, con las siguientes dimensiones normalizadas:

Diámetro Superior : 40 +/- 3 mm

Diámetro Inferior : 90 +/- 3 mm

Altura : 75 +/- 3 mm

Espesor mínimo : 0.8 mm

4. Apisonador de metal normalizado, con un peso de 340 +/- 15 gr., con un extremo de superficie plana circular de 25 +/- 3 mm. de diámetro de contacto.
5. Horno capaz de mantener la temperatura a 110 °C
6. Baño de María.

PROCEDIMIENTO

1. Se registra el peso del picnómetro con agua hasta el nivel de 500 ml.
2. Se reduce el material fino por medio de cuarteo hasta alcanzar una muestra de más de 1 kg. de material pasante del tamiz N°4, se seca a 110°C en el horno hasta conseguir peso constante, se enfría a temperatura ambiente por 1 a 3 horas y se sumerge en un balde con agua por 24 horas para saturar el material.
3. Pasado ese tiempo se esparce agua, con mucha atención cuidando que no se derrame el material arcilloso
4. El material húmedo se pone en una bandeja y se hace perder humedad, puede ser por medio de acción solar, en caso de ser muy húmeda la muestra se lleva al horno a una temperatura

moderada (60 °C), la finalidad es conseguir que se pierda la humedad lentamente, agitando continuamente para que la humedad sea pareja y para vigilar que no se evapore el agua de la muestra superando el estado saturado superficialmente seco, el que se alcanza cuando se cumple la prueba del cono:

5. Esta prueba se realiza colocando el agregado hasta colmar el cono metálico, y se le da golpes con el apisonador. Se repite este trabajo tres veces, debiendo sumar 25 golpes en las tres veces que se comprime la muestra.



Fotografía 4-5 Compactación de los Agregados en el Cono con el Apisonador

6. Se vuelve a rebosar el cono, se enrasa y se lo retira, pueden darse diferentes resultados después de este procedimiento como los siguientes:
 1. Si se queda con forma tronco - cónica, tiene más humedad que la correspondiente al estado saturado superficialmente seco.
 2. Si se queda con forma cónica terminada en punta sin desmoronarse, tiene la humedad correspondiente al estado saturado superficialmente seco.
 3. Si se desmorona, tiene menos humedad que la correspondiente al estado saturado superficialmente seco.
7. Cuando el agregado se halla en el estado saturado superficialmente seco, se pesan 500 gr. de material y se ponen en el picnómetro, y otros 500 gr. se ponen en el horno a secar. Se puede usar menor cantidad de muestra sino alcanza, pero para que la muestra sea representativa esta cantidad es la útil, y siempre se debe poner la misma cantidad en el picnómetro y en el horno a secar. Si la muestra está más seca de lo necesario, se le debe humedecer con agua, agitar y esperar 30 minutos antes de repetir la prueba del cono.

8. Se agrega agua al picnómetro hasta la marca de 500 ml. Y se proceden a quitar los vacíos que se encuentren en el material hasta reducir las burbujas de aire haciendo rodar el picnómetro y colocándolo luego en baño a 23 ° C por una hora, agitando el picnómetro para eliminar los vacíos, si se dispone se puede utilizar una bomba que extraiga el aire.



Fotografía 4-6 Llenado de Picnómetro con agregado Fino

9. Se agrega agua nuevamente para reponer el volumen perdido por la extracción de burbujas hasta conseguir el 500 ml y se registra nuevamente el peso
10. Se registra el peso de la muestra que fue llevada al horno, hasta que tenga peso constante.
11. Por facilidad se utiliza el mismo material proveniente del picnómetro utilizado anteriormente, luego que se registró el peso del picnómetro con el agua hasta el nivel de 500 cm³, para secarlo en el horno hasta tener peso constante. Se debe vigilar con el mayor cuidado no perder nada de la muestra para que los resultados sean válidos.
12. Este ensayo debe ser realizado lo más pronto posible para evitar modificaciones de humedad del estado saturado superficialmente seco

CÁLCULOS

Se utiliza las siguientes formulas

$$\text{Gravedad Específica de Masa (seca)} = \frac{A}{B + 500 - C}$$

Dónde:

A = Peso de la muestra secada al horno, gramos

B = Peso del frasco (picnómetro) con agua, gramos

C = Peso del frasco + la muestra + el agua, hasta la marca de calibración

500 = Peso de agregado fino saturado usado en gramos

$$\text{Gravedad Específica de Masa (SSS)} = \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$\text{Gravedad Específica Aparente} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{500 + A}{A} \times 100$$

RESULTADOS

Los cálculos y resultados se muestran a continuación en las siguientes tablas:

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO
(ASTM C-127)

UBICACIÓN: POMASQUI

MINA: CORAZÓN

AGREGADO: GRUESO

"A" PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO	4783	g
"B" PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA	4988	g
"C" PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA SATURADA	2913	g
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA		
$\frac{A}{B - C}$	=	2.305 g/cm ³
GRAVEDAD ESPECIFICA S.S.S.		
$\frac{B}{B - C}$	=	2.404 g/cm ³
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE		
$\frac{A}{A - C}$	=	2.558 g/cm ³
% DE ABSORCION		
$\frac{B - A}{A}$	X 100 =	4.286

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ASTMC-128)

UBICACIÓN: POMASQUI

MINA: CORAZÓN

AGREGADO: FINO

"A" PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO			498.0	g
"B" PESO FRASCO + AGUA			678.6	g
"C" PESO FRASCO + AGUA + MATERIAL			980.3	g
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA	$\frac{A}{B + 500 - C}$	=	2.511	g/cm3
GRAVEDAD ESPECIFICA S.S.S.	$\frac{500}{B + 500 - C}$	=	2.521	g/cm3
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{A}{A + B - C}$	=	2.537	g/cm3
% DE ABSORCION	$\frac{500 - A}{A}$	X 100 =	0.402	

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

UBICACIÓN: POMASQUI

MINA: CORAZÓN

USO: BASE CLASE B, ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

		100%			
		65%	+	35%	
		2.305		2.511	
		G.M.A. =		2.373	g/cm3
		% DE ABSORCIÓN MEZCLA DE ÁRIDOS			
		100%			
		65%	+	35%	
		4.29		0.40	
		% ABSORCIÓN =		0.977	

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-127)

UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO

MINA: ROSITA

AGREGADO: GRUESO

"A" PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO	4582	g
"B" PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA	4810	g
"C" PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA SATURADA	2877	g
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA		
$\frac{A}{B - C}$	=	2.370 g/cm3
GRAVEDAD ESPECIFICA S.S.S.		
$\frac{B}{B - C}$	=	2.488 g/cm3
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE		
$\frac{A}{A - C}$	=	2.687 g/cm3
% DE ABSORCION		
$\frac{B - A}{A}$	X 100 =	4.976

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ASTMC-128)**UBICACIÓN:** MITAD DEL MUNDO**MINA:** MINA ROSITA**AGREGADO:** FINO

"A" PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO			498.8	g
"B" PESO FRASCO + AGUA			658.1	g
"C" PESO FRASCO + AGUA + MATERIAL			967.6	g
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA	$\frac{A}{B + 500 - C}$	=	2.618	g/cm3
GRAVEDAD ESPECIFICA S.S.S.	$\frac{500}{B + 500 - C}$	=	2.625	g/cm3
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{A}{A + B - C}$	=	2.635	g/cm3
% DE ABSORCION	$\frac{500 - A}{A}$	X 100 =	0.241	

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

UBICACIÓN: MITAD DEL MUNDO

MINA: MINA ROSITA

USO: BASE CLASE B, ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

		100%			
		60%	+	40%	
		2.370		2.618	
		G.M.A. =		2.464	g/cm3
% DE ABSORCION MEZCLA DE ARIDOS					
		100%			
		60%	+	40%	
		4.976		0.241	
		% ABSORCION =		0.561	

4.2 DISEÑO MARSHALL MODIFICADO PARA MEZCLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

4.2.1 OBJETIVO

El objetivo de la realización del diseño utilizando el Método Marshall es determinar la cantidad óptima de Asfalto, expresada en porcentaje de Emulsión, como se trata de bases asfálticas, el óptimo es la cantidad mínima de emulsión que puede estabilizar a los agregados para que se cumplan las normativas de diseño.

Para conseguir este objetivo se sigue los procedimientos descritos para el Método Marshall con las respectivas variaciones, porque este método fue originalmente propuesto para mezclas asfálticas en caliente, sin embargo es muy utilizado por el gran conocimiento general del método y que los equipos necesarios se los puede encontrar en casi cualquier lugar.

4.2.2 COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS

Para la investigación después de obtener los resultados de granulometrías, revisar las normas propuestas para este tipo de materiales y la aplicación. Se acogió como combinación adecuada para la Mina Corazón 60% de Ripio y 40 % de Arena; y la Mina Rosita 65 % de Ripio y 35% de Arena, con esta combinación se consiguió cumplir granulometría propuesta para bases con este tipo de estabilización. (El cálculo más detallado se encuentra en el CAPÍTULO 2)

Se alcanzó la más alta clasificación posible para este material.

4.2.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TENTATIVO DE EMULSIÓN

Como se expuso en la teoría previa, existen varios métodos para determinar el contenido tentativo de emulsión; pero son más utilizados para el diseño de carpeta asfáltica.

Para una aplicación correcta de lo que se desea buscar; se utiliza la fórmula propuesta por Instituto del Asfalto, para la estabilización de bases con emulsión que es la siguiente:

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{[(0.06 \times B) + (0.01 \times C)] \times 100}{A}$$

Dónde:

% Emulsión = Porcentaje inicial estimado de emulsión asfáltica, expresado en función del peso seco del agregado

A= Porcentaje de Asfalto Residual de la Emulsión

B =Porcentaje de agregado seco que pasa el tamiz N° 4 (4.75 mm)

C= 100- B = Porcentaje de agregado seco retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm)

De la Tabla de combinación de los agregados:

Mina Corazón

$$A = 60\%$$

$$B = 43\%$$

$$C = 100 - 43\% = 57\%$$

Mina Rosita

$$A = 60\%$$

$$B = 50\%$$

$$C = 100 - 50\% = 50\%$$

Entonces:

Para Mina Corazón

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{[(0.06 \times 43) + (0.01 \times 57)] \times 100}{A} = 5.25\%$$

Para Mina Rosita

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{[(0.06 \times 50) + (0.01 \times 50)] \times 100}{A} = 5.81\%$$

Los contenidos tentativos de emulsión adoptados serán de 5.25% y 5.81% respectivamente para cada mina.

4.2.4 ENSAYO DE RECUBRIMIENTO

Este ensayo se realizó usando el contenido tentativo de emulsión y por experiencia en muchos países se utilizan intervalos de agua de pre mezcla relacionados a valores obtenidos en el ensayo PRÓCTOR MODIFICADO; estos valores de humedad óptima son 10.8% para la mina Corazón y 8.8 % para la mina Rosita.

Se toma en cuenta que la emulsión contiene 40 % de agua en su estructura. Un parámetro importante es la trabajabilidad que permite el correcto mezclado y garantiza el mejor recubrimiento, para diferentes contenidos de agua.

OBJETIVO

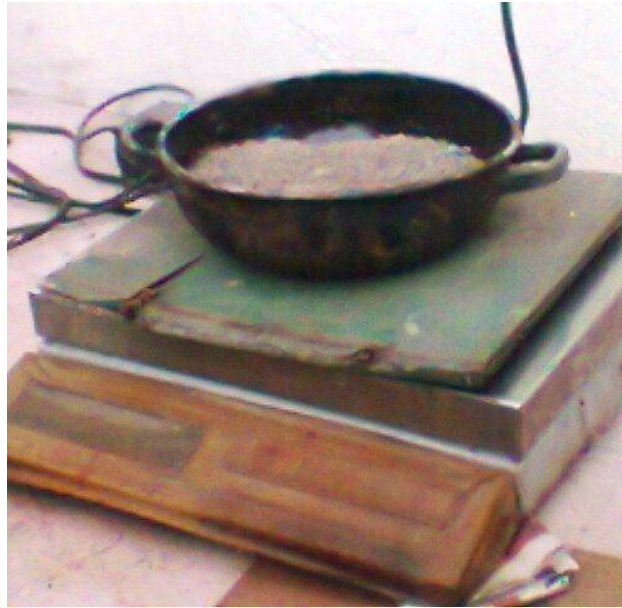
Determinar el porcentaje de agua que permita un recubrimiento mínimo óptimo de las bases estabilizadas con emulsión asfáltica.

EQUIPO

1. Balanza, con suficiente capacidad para soportar el peso de la muestra y sensible a 0.5 gr.
2. Horno capaz de mantener la temperatura a 110 °C
3. Espátula de acero
4. Envase adecuado para mezcla

PROCEDIMIENTO

1. Separamos cantidades suficientes de agregados fino y grueso para cada mezcla, buscando la mejor representatividad utilizando el procedimiento de cuarteo.
2. Secamos el material por un período de 24 horas en el horno a una temperatura de 110 °C hasta obtener un peso constante.
3. Se saca del horno se espera que enfrié, a temperatura ambiente pero intentando que no gane humedad, se guardara en fundas para evitar la ganancia de humedad y para utilizar estos agregados preparados en otros ensayos, si no se realiza este procedimiento se deberá calcular el peso seco de los agregados con corrección por humedad
4. Se pesa el equivalente de 500 gramos de agregado seco, formando la mezcla en los porcentajes establecidos.



Fotografía 4-7 Pesaje de Agregados para Ensayo de Recubrimiento.

5. Separamos el agua de pre mezclado y mezcle manualmente durante 10 segundos o hasta que tenga apariencia de dispersión uniforme.
6. Pese el contenido de emulsión asfáltica a la temperatura de uso prevista y adicione al agregado húmedo; mezcle manualmente en forma vigorosa durante 60 segundos utilizando mezclador, en este caso particular se realizó la mezcla de forma manual, el tiempo de mezclado para esta forma es de 1 a 3 minutos, hasta que ha tenido lugar una dispersión suficiente en la totalidad de la mezcla
7. Coloque la mezcla sobre una superficie plana y estime visualmente el grado de recubrimiento. Visualmente se valoran las diferentes mezclas después de media hora y presta atención al cambio de color de las mezclas al pasar de un color marrón a negro, cuando ocurra esto significa que se ha dado el rompimiento de la emulsión, entonces se ve mejor recubrimiento.



Fotografía 4-8 Determinación del Recubrimiento

8. Si se desea, puede evaluarse la resistencia de una fracción de la mezcla fresca sumerja totalmente la mezcla en agua (un volumen de agua de alrededor de dos veces el volumen de la mezcla) y luego vacíe el agua, colocando la muestra sobre una superficie plana y estimando visualmente: el grado de recubrimiento retenido. Si es satisfactorio, verifique la adherencia del asfalto. Si la adherencia no es aceptable, entonces debería modificarse la emulsión empleada o elegirse otro grado.

CÁLCULOS

Formación de Mezclas con Porcentajes para Obtener 500 gr

Mina Corazón

Ripio = 60 %

Arena = 40 %

Cantidades

Ripio = $500 \times 0.6 = 300 \text{ gr}$

Arena = $500 \times 0.4 = 200 \text{ gr}$

Cantidad de Agregado Seco = 500 gr

Porcentaje tentativo de emulsión = 5.25%

Cantidad de emulsión = 26.3 gr

Cantidad de Agua en la emulsión = 10.52 gr

Porcentaje de Humedad óptima = 10.8 %

Cantidad de Agua para 500 gr = 54 gr

Agua faltante = 43.5 gr

Mina Rosita

Ripio = 65 %

Arena = 35 %

Cantidades

Ripio = $500 \times 0.65 = 325$ gr

Arena = $500 \times 0.35 = 175$ gr

Cantidad de Agregado Seco = 500 gr

Porcentaje tentativo de emulsión = 5.81%

Cantidad de emulsión = 29.1 gr

Cantidad de Agua en la emulsión = 11.64 gr

Porcentaje de Humedad óptima = 8.8 %

Cantidad de Agua para 500 gr = 44 gr

Agua faltante = 32.36 gr

Se hizo el ensayo de recubrimiento para valores inferiores.

Porcentaje de Humedad	Peso Agregado Seco	Porcentaje Tentativo de Emulsión	Peso de la Emulsión	Agua en la Emulsión	Humedad necesaria	Agua Faltante	Cubrimiento después de 1/2 hora
%	gr	%	gr	gr	gr	gr	
9.4	500	5.25	26.25	10.5	47	36.5	No aceptable
10.2	500	5.25	26.25	10.5	51	40.5	Aceptable
10.8	500	5.25	26.25	10.5	54	43.5	Aceptable

Tabla 4-2 Cantidades para Ensayo de Recubrimiento con Agregados de la Mina Corazón

Porcentaje de Humedad	Peso Agregado Seco	Porcentaje Tentativo de Emulsión	Peso de la Emulsión	Agua en la Emulsión	Humedad necesaria	Agua Faltante	Cubrimiento despues de 1/2 hora
%	gr	%	gr	gr	gr	gr	
8	500	5.81	29.05	11.62	40	28.38	No aceptable
8.6	500	5.81	29.05	11.62	43	31.38	Aceptable
8.8	500	5.81	29.05	11.62	44	32.38	Aceptable

Tabla 4-3 Cantidades para Ensayo de Recubrimiento con Agregados de la Mina Rosita

Realizado el ensayo de recubrimiento se determinó el porcentaje adecuado de la humedad mínima para la mina Corazón es 51 gr y para la Mina Rosita 43 gr, con porcentajes inferiores el cubrimiento fue rechazado por la falta de trabajabilidad que impidió el cubrimiento óptimo.

4.2.5 ENSAYO DE ADHERENCIA

OBJETIVO

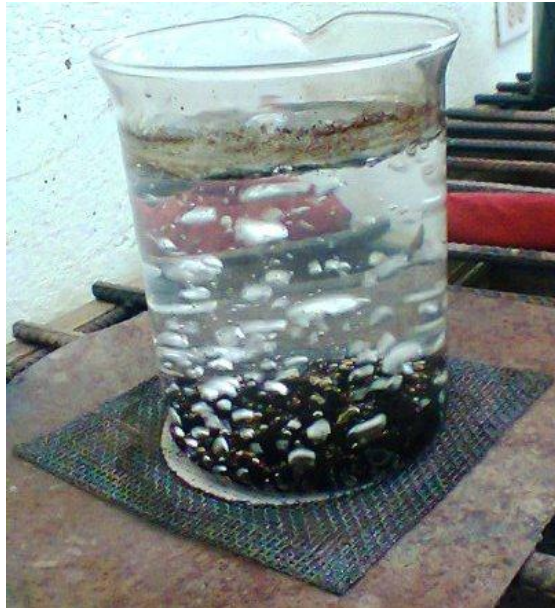
Determinar si el porcentaje de agua seleccionado en el ensayo de Recubrimiento es el adecuado para que la Emulsión Asfáltica se mantenga adherida a los agregados que conforman la Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica.

EQUIPO

1. Balanza, con suficiente capacidad para soportar el peso de la muestra y sensible a 0.5 gr.
2. Horno capaz de mantener la temperatura a 60 °C
3. Espátula de acero
4. Envase adecuado para mezcla
5. Vaso de Precipitado de 600 ml

PROCEDIMIENTO

1. Separamos una fracción de 100 gramos de la mezcla producida anteriormente en el ensayo de recubrimiento en una bandeja, lo colocamos en una estufa de circulación forzada durante 21 horas a 60 °C (140 F), en nuestro caso se utilizó el horno.
2. Colóquese la mezcla curada en el vaso de precipitado de 600 ml conteniendo 400 ml de agua destilada en ebullición.
3. Devuelva el agua a su punto de ebullición y manténgalo, y agite el agua durante tres minutos, a una revolución por segundo.
4. Derrame el agua y coloque la mezcla sobre un trozo de papel blanco absorbente.
5. Luego de que la mezcla se ha secado, evalúe visualmente el porcentaje de recubrimiento asfáltico retenido. De ser satisfactorio, continúe el diseño de la mezcla; de no ser aceptable, la emulsión en uso debería ser modificada o elegirse otro grado.



Fotografía 4-9 Ensayo de Adherencia. (Ebullición de la Mezcla)



Fotografía 4-10 Procedimiento del Ensayo de Adherencia. (Secado)

4.2.6 FABRICACIÓN DE BRIQUETAS

MATERIAL Y EQUIPO.

1. Mezcla de Agregados Arena y Ripio (900 gr) para cada briqueta.
2. Emulsión CSS – 1H (Proveedor Chova)
3. Disco de papel parafinado
4. Balanza de precisión de 0.1 gr.
5. Equipo misceláneo. (Brochas para limpieza, cepillo, espátulas de 4”, charolas de lámina galvanizada, palas manuales, cucharas y cuchilla)
6. Probeta precisión (1 ml)
7. Pipeta plástica
8. Moldes para briquetas
9. Martillo mecánico Marshall
10. Equipo para desmoldar briquetas Marshall



Fotografía 4-11 Equipos Utilizados en la Compactación de Briquetas por el Método Marshall



Fotografía 4-12 Equipos Utilizados en la extracción de Briquetas por el Método Marshall

PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO.

El Instituto del Asfalto en su publicación Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS N° 19S, sugiere la realización de 3 puntos mínimo para la determinación del porcentaje óptimo de la emulsión.

En cada punto se elaboraron 6 briquetas, la mitad para realizar la estabilidad seca y las otras 3 para estabilidad saturada.

En total se realizó 18 briquetas para cada mina.

Las cantidades empleadas para realizar las mezclas fueron las siguientes:

Porcentaje de Humedad	Peso Agregado Seco	Porcentaje Tentativo de Emulsión	Peso de la Emulsión	Agua en la Emulsión	Humedad necesaria	Agua Faltante	Peso de Mezcla
%	gr	%	gr	gr	gr	gr	gr
10.2	900	5	45	18	92	74	1019
10.2	900	6	54	22	92	70	1024
10.2	900	7	63	25	92	67	1030

Tabla 4-4 Cantidades para Fabricación de Briquetas para los Agregados de La Mina Corazón

Porcentaje de Humedad	Peso Agregado Seco	Porcentaje Tentativo de Emulsión	Peso de la Emulsión	Agua en la Emulsión	Humedad necesaria	Agua Faltante	Peso de Mezcla
%	gr	%	gr	gr	gr	gr	gr
8.6	900	5	45	18	77	59	1004
8.6	900	6	54	22	77	56	1010
8.6	900	7	63	25	77	52	1015

Tabla 4-5 Cantidades para Fabricación de Briquetas para los Agregados de la Mina Rosita

El procedimiento es el siguiente:

1. Pese en envases adecuados las cantidades de agregados necesarios en peso seco, si los agregados están húmedos sus cantidades corregidas a peso seco, se busca obtener briquetas compactadas cuyas alturas sean similares a 63.5 mm (2.5 pulgadas)
2. Debe ponerse cuidado en que los agregados para cada briqueta sean representativos de los agregados del proyecto.
3. Los agregados secos se los cubrirá para prevenir la ganancia de humedad.
4. Colocar la arena y ripio en una charola, y mezclar uniformemente.
5. Si se necesita agua de pre-mezclado, pese, agregándola a los agregados, la cantidad predeterminada que se estableció en el ensayo de recubrimiento y mezcle durante 10 segundos o hasta que la humedad esta uniformemente distribuida. Para la adición del agua nos valemos de la pipeta donde medimos el peso del agua en volumen.
6. Esto debe realizarse antes de la adición y mezclado de la emulsión.
7. Pese la cantidad calculada de emulsión y colóquela sobre los agregados a temperatura ambiente y agite vigorosamente durante 1 a 3 minutos en nuestro caso fue 90 segundos, una medida visual de la adecuada mezcla es que la emulsión se haya dispersado lo suficientemente.
8. Esperar a que la mezcla pierda humedad y cambie de color que indica el rompimiento de la emulsión, todo esto se realiza a temperatura ambiente, finalidad de este procedimiento es mejorar la compactación.



Fotografía 4-13 Colocación de la Emulsión sobre los Agregados



Fotografía 4-14 Mezcla de Agregados con Emulsión después de Pérdida de Humedad y Rotura de Emulsión

PROCEDIMIENTO DE COMPACTACIÓN

1. Colocar en el molde y el collar sobre la base del pedestal que forma parte del equipo de compactación Marshall, en el interior poner disco de papel parafinado con las dimensiones del interior del molde, luego colocar la mezcla asfáltica.
2. Varillar la mezcla en el molde, dándole 15 punzadas en el perímetro y 10 en el centro, con la espátula, alise la superficie de la mezcla dándole una forma ligeramente redondeada, y colocar otro disco de papel parafinado.

3. Colocar el martillo Marshall con una caída libre de 457.2 mm (18.0 pulgadas) sobre el molde, para luego proceder a la compactación, procurando dar de forma constante el número de golpes según sea el diseño. En nuestra investigación el uso va a ser en una vía urbana, por este motivo se someterá a las briquetas a 75 golpes.
4. Terminada la compactación en la primera cara, invertimos el molde para golpear la cara que no estuvo expuesta.
5. Retire la base, el collar, los discos de papel (si fuera posible, si se compromete la briketa conservarlo hasta que se pueda sacar sin dañar la superficie) y coloque el molde, con el espécimen compactado en su interior, sobre un estante perforado en el horno a 60 °C (140 F) durante 48 Horas (JIMÉNEZ ACUÑA, SIBAJA OBANDO, & MOLINA ZAMORA, 2008). Para algunas mezclas, puede ser necesario empujar espécimen hacia abajo nivelándolo con el fondo del molde, de mezcla que el estante de la estufa lo soporte durante el curado.
6. Pasado el tiempo de curado de las briquetas a la temperatura de 60 °C, se procede a sacarlas de los moldes, para esto se deja enfriar el espécimen en el molde durante una hora como mínimo, previamente a su desmolde. Para esto nos ayudamos del equipo apropiado para este objetivo.



Fotografía 4-15 Fabricación de una briketa, llenado del molde para compactar con el Martillo



Fotografía 4-16 Muestras Compactadas en los Moldes para Briquetas con los Agregados de la Minas Rosita



Fotografía 4-17 Curado de Muestras en Moldes para Briquetas en Horno



Fotografía 4-18 Equipo para Desmolde de Briquetas y Muestras Desmoldadas

4.2.7 ENSAYO DE LAS BRIQUETAS

Con las briquetas compactadas se determinan los valores aproximados de los parámetros volumétricos y de la estabilidad.

Los parámetros volumétricos a menudo no son evaluados; se los calcula sólo como aproximaciones, debido a la posibilidad de que exista humedad en las briquetas compactadas, curadas y al gran número de especímenes necesarios para valores más exactos. Si se desean valores más precisos, debe tenerse en cuenta la humedad existente en los especímenes compactados y la máxima densidad teórica debe ser determinada con una mezcla suelta, libre de humedad.

Propiedades Volumétricas (Método Marshall Modificado).

La determinación de las propiedades volumétricas se realiza por medio del caso general expuesto para este tipo de mezclas con emulsión asfáltica esto es utilizando la geometría y el peso en el aire para determinar la densidad Bulk.

Debe recordarse que solo se realiza la determinación por esta forma para comprobar la validez de la compactación de briquetas y comprobar que las briquetas sean similares

Se utiliza la siguiente fórmula:

$$D_b = \frac{W_a}{(H \times A)}$$

Dónde:

D_b = Densidad bruta (medida) de un espécimen de mezcla compactada

W_a = Peso, en aire del espécimen compactado

H = Altura del espécimen compactado

A = Altura de la selección transversal de un espécimen compactado, se lo obtiene de la fórmula $(\pi \times r^2)$

EQUIPO

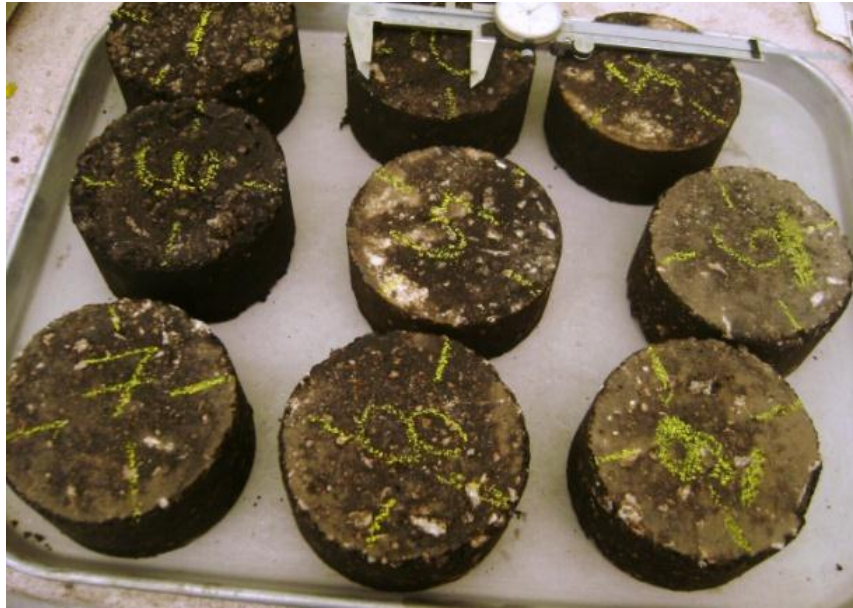
1. Calibrador
2. Balanza
3. Crayón



Fotografía 4-19 Equipo utilizado para la determinación de Propiedades Volumétricas

PROCEDIMIENTO

1. Marcamos las briquetas con un crayón con un código fácil de identificar según sus propiedades.
2. Realizamos 4 marcas en una cara con el crayón, 2 en el sentido de un diámetro y las otras 2 en el diámetro perpendicular a este.
3. Realizamos la medición de altura en estos cuatro puntos anteriormente marcados.
4. Realizamos la medición de los diámetros en los 2 sentidos de los diámetros.
5. Estos valores serán promediados.



Fotografía 4-20 Señalización de Marcas para Medición de Dimensiones

Las siguientes tablas indican los valores obtenidos para la determinación de la densidad Bulk para las briquetas fabricadas

DENSIDAD BULK MINA CORAZÓN

NUMERO DE BRIQUETA	ESTADO DE ENSAYO	% DE EMULSIÓN	DIMENSIONES										DIÁMETRO PROMEDIO	ALTURA PROMEDIO	PESO SECO	VOLUMEN	DENSIDAD			
			DIÁMETRO		ALTURA						cm	cm					w	V	Kg/m3	BULK
			d1	d2	h1	h2	h3	h4												
			cm	cm	cm	cm	cm	cm												
1	SECO	5	10.28	10.26	6.03	6.03	6.03	6.07	10.27	6.04	924	500	1847	1840						
2			10.28	10.28	6.03	6.04	6.04	6.05			919	501	1833							
3			10.17	10.19	6.15	6.18	6.18	6.13			922	501	1839							
4	10.28		10.30	5.97	5.98	6.02	6.03	919			499	1842								
5	10.30		10.31	5.96	5.97	6.02	6.01	920			500	1842								
6	10.18		10.17	6.14	6.15	6.14	6.13	917			499	1837								
7	SECO	6	10.28	10.27	5.86	5.83	5.97	5.90	10.28	5.89	916	488	1876	1865						
8			10.20	10.18	6.00	5.99	5.96	6.01			909	489	1861							
9			10.21	10.22	5.98	5.98	5.98	5.98			913	490	1863							
10			10.22	10.21	5.87	6.00	5.95	6.06			914	489	1868							
11			10.27	10.28	5.92	5.92	5.94	5.90			915	491	1864							
12			10.20	10.21	5.96	5.96	5.97	5.99			909	488	1862							
13	SECO	7	10.28	10.25	5.90	5.91	5.93	5.86	10.27	5.90	923	488	1890	1890						
14			10.18	10.20	6.00	5.94	6.01	5.93			929	487	1908							
15			10.28	10.30	5.88	5.86	5.89	5.89			923	489	1888							
16			10.29	10.31	5.80	5.82	5.84	5.86			920	486	1894							
17			10.27	10.30	5.88	5.86	5.87	5.87			915	488	1876							
18			10.30	10.30	5.85	5.85	5.81	5.89			919	487	1885							

Tabla 4-6 Resultados de la Densidad Bulk con Agregados de la Mina Corazón

DENSIDAD BULK MINA ROSITA

NUMERO DE BRIQUETA	ESTADO DE ENSAYO	% DE EMULSIÓN	DIMENSIONES								PESO		VOLUMEN	DENSIDAD BULK		DENSIDAD BULK PROMEDIO
			DIÁMETRO		ALTURA				DIÁMETRO PROMEDIO	ALTURA PROMEDIO	SECO	BULK		w/v		
			d1	d2	h1	h2	h3	h4					cm		cm	cm
			cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm3	Kg/m3
1	SECO	5	10.25	10.26	6.25	6.24	6.22	6.22	6.22	10.27	6.23	1010	516	1957	1960	
2			10.21	10.19	6.39	6.38	6.36	6.39	6.39	10.17	6.38	1009	518	1947		
3			10.23	10.24	6.18	6.15	6.17	6.19	6.19	10.26	6.17	1007	510	1974		
4	10.24		10.25	6.17	6.22	6.24	6.28	6.28	10.25	6.23	1011	514	1969			
5	SATURADO		10.26	10.27	6.24	6.21	6.20	6.19	6.19	10.27	6.21	1006	514	1957		
6			10.22	10.23	6.29	6.28	6.31	6.32	6.32	10.23	6.30	1012	517	1956		
7	SECO	6	10.27	10.27	6.23	6.22	6.22	6.21	6.21	10.27	6.22	1016	515	1972	1980	
8			10.17	10.18	6.27	6.26	6.28	6.27	6.27	10.17	6.27	1012	509	1987		
9			10.26	10.27	6.15	6.14	6.16	6.15	6.15	10.26	6.15	1013	508	1992		
10			10.17	10.16	6.31	6.28	6.32	6.36	6.36	10.17	6.31	1015	512	1982		
11			SATURADO	10.23	10.19	6.31	6.24	6.26	6.31	6.31	10.21	6.28	1012	514		1968
12				10.24	10.22	6.23	6.20	6.21	6.20	6.20	10.23	6.21	1009	510		1977
13	SECO	7	10.30	10.31	6.11	6.03	6.14	6.04	6.04	10.30	6.08	1014	507	2002	1992	
14			10.27	10.27	6.27	6.23	6.24	6.22	6.22	10.27	6.24	1013	517	1960		
15			10.30	10.30	6.03	6.06	6.07	6.05	6.05	10.30	6.05	1004	504	1992		
16	SATURADO		10.19	10.21	6.13	6.18	6.19	6.14	6.14	10.20	6.16	1002	503	1991		
17			10.26	10.32	5.97	5.96	5.97	5.96	5.96	10.29	5.96	1001	496	2020		
18			10.23	10.24	6.13	6.11	6.12	6.12	6.12	10.24	6.12	1002	504	1990		

Tabla 4-7 Resultados de la Densidad Bulk con Agregados de la Mina Rosita

Ensayo de Estabilidad y Flujo

Estabilidad Seca y Saturada

La estabilidad se calcula para cada grupo de briquetas después del curado, sin olvidar que primero ensayaremos un grupo de tres briquetas por porcentaje de emulsión en seco y luego de cuatro días ensayaremos las tres briquetas restantes sometidas a saturación en agua a temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, para simular la influencia de la humedad (SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES;).

La determinación de la Estabilidad Marshall se la obtiene en unidades de libras. Cada equipo tiene una fórmula de estabilidad, debido a que tienen un anillo de compresión con una determinada constante, por esto las medidas obtenidas deben ser corregidas para obtener su equivalencia en unidades aceptadas por normas de cada país. El equipo utilizado consta de un anillo dinamómetro que da el valor de carga en Kilogramos, este valor se debe convertir al final a libras, porque en nuestro país el MOP sugiere el uso de esta unidad.

Flujo

El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100") que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

Se determina promediando los valores obtenidos en los seis especímenes fabricados.

EQUIPO

1. Prensa Marshall mecánica provista de anillo dinamómetro de 0 a 6000 lbs. Capaz de aplicar una carga a una velocidad constante 50,8 mm (2 pulg) por minuto.
2. Mordaza de rotura para ensayos de las probetas.
3. Medidor de deformación o cualquier otro dispositivo que permite medir la variación de diámetro de los especímenes durante el ensayo de estabilidad (Determinación del Flujo).
4. Baño de agua de control termostático para sumergir y calentar probetas que mantenga temperatura a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Fotografía 4-21 Mordaza de rotura



Fotografía 4-22 Prensa Marshall y Anillo

PROCEDIMIENTO

1. Se encera los aparatos, se comprueba el funcionamiento del extensómetro del anillo de carga y medidor de deformación de flujo.
2. Se sumergen las briquetas en un baño María a 60 °C por un tiempo entre 30 y 40 minutos.
3. Se limpian cuidadosamente las superficies interiores las mordazas de rotura y se lubrican con grasa o aceite las varillas de guía hasta que la mordaza superior se deslice libremente.

4. Se extrae la briqueta del baño y se seca la superficie.
5. Se coloca la briqueta centrada sobre la mordaza inferior, se ensambla luego la mordaza superior y el conjunto armado se sitúa centrado en la prensa.
6. Se verifica que el extensómetro del anillo de carga instalado en la máquina de compresión marque 0 cuando no se esté aplicando carga. Se ubica el medidor encargado de la medición de flujo sobre la varilla guía marcada y se comprueba que la lectura inicial sea 0.
7. Se aplica la carga a la probeta a velocidad de deformación constante de 50,8 mm (2 pulg) por minuto hasta que se produce la rotura. El punto de rotura viene definido por la carga máxima obtenida. La carga necesaria para producir la rotura de la briqueta a 60 °C es el valor de la Estabilidad Marshall.
8. Mientras se está determinando la estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformación en su posición sobre la varilla de guía, cuando llega a la carga máxima se lee y anota la medida. Esta lectura es el valor de deformación, expresada en centésimas de pulgada, conocido como flujo.
9. El proceso desde el momento de sacar la probeta del baño María hasta la rotura de la misma, debe realizarse lo más rápidamente.



Fotografía 4-23 Colocación de la Briqueta en la Mordaza



Fotografía 4-24 Equipo con Briqueta para aplicación de Carga

Corrección de La Estabilidad

La obtención de briquetas con las dimensiones normalizadas propone un problema que se lo resuelve en base a experiencias anteriores y en base a la fabricación de un gran número de briquetas, esto en la práctica no se lo realiza por costos y por tiempo. Para esto aparece la posibilidad de corrección de los valores de la estabilidad de las probetas, esta corrección se consigue multiplicando la estabilidad obtenida por coeficientes que están en función del volumen en cm^3 de cada briqueta. Para facilitar la corrección se utiliza la siguiente tabla:

Volumen de la briqueta (cm3)	Factor de Corrección
200-213	5.56
214-225	5
226-237	4.55
238-250	4.17
251-264	3.85
265-276	3.57
277-289	3.33
290-301	3.03
302-316	2.78
317-328	2.5
329-340	2.27
341-353	2.08
354-367	1.92
368-379	1.79
380-392	1.67
393-405	1.56
406-420	1.47
421-431	1.39
432-443	1.32
444-456	1.25
457-470	1.19
471-482	1.14
483-495	1.09
496-508	1.04
509-522	1
523-535	0.96
536-546	0.93
547-559	0.89
560-573	0.86
574-585	0.83
586-598	0.81
599-610	0.78
611-625	0.76

Tabla 4-8 Factor de Corrección de Estabilidad

Las siguientes tablas indican los datos obtenidos para la determinación de los valores de estabilidad y flujo para las muestras en estado seco y saturado.

ESTABILIDAD Y FLUJO MINA CORAZÓN													
NUMERO DE BRIQUETA	ESTADO DE ENSAYO	% DE EMULSIÓN	VOLUMEN V	ESTABILIDAD						FLUJO			
				MEDICIÓN DEL APARATO	NO CORREGIDA		F. C.	CORREGIDA		PROMEDIO Lbs.Min	MEDICIÓN (1/100")	PROMEDIO (1/100")	
					Kg.Min	Kg.Min		Kg.Min	Lbs.Min				
1	SECO	5	500	51	178	1.04	185	407	403	4	5		
2			501	49	172	1.04	179	394		5			
3			501	51	178	1.04	185	407		6			
4	SATURADO		499	41	145	1.04	151	332	339	6			
5			500	42	148	1.04	154	339		7			
6			499	43	152	1.04	158	348		4			
7	SECO	6	488	89	305	1.09	332	731	747	6	6		
8			489	91	312	1.09	340	748		5			
9			490	93	318	1.09	347	763		4			
10	SATURADO		489	83	285	1.09	311	683	675	7			
11			491	82	282	1.09	307	676		6			
12			488	81	278	1.09	303	667		6			
13	SECO	7	488	173	585	1.09	638	1403	1413	6	8		
14			487	174	588	1.09	641	1410		6			
15			489	176	595	1.09	649	1427		8			
16	SATURADO		486	160	541	1.09	590	1297	1319	8			
17			488	163	551	1.09	601	1321		8			
18			487	165	558	1.09	608	1338		9			

Tabla 4-9 Resultados de la Estabilidad y Flujo con Agregados de la Mina Corazón

ESTABILIDAD Y FLUJO MINA ROSITA												
NUMERO DE BRIQUETA	ESTADO DE ENSAYO	% DE EMULSIÓN	VOLUMEN V	ESTABILIDAD						FLUJO		
				MEDICIÓN DEL APARATO	NO CORREGIDA		F. C.	CORREGIDA		PROMEDIO Lbs.Min	MEDICIÓN (1/100")	PROMEDIO (1/100")
					Kg.Min	Kg.Min		Lbs.Min	Lbs.Min			
1	SECO	5	516	94	322	1	322	708	708	5	6	
2			518	90	308	1	308	678		6		
3			510	98	335	1	335	737		7		
4	514		80	275	1	275	605	7				
5	SATURADO		514	83	285	1	285	627	615	6		
6			517	81	278	1	278	612	5			
7			515	174	588	1	588	1294	7			
8	SECO	6	509	168	568	1.04	591	1300	1305	9	8	
9			508	171	578	1.04	601	1322		8		
10			512	158	535	1	535	1177		8		
11	SATURADO		514	159	538	1	538	1184	1195	7		
12			510	158	535	1.04	556	1224	6			
13			507	263	885	1.04	920	2025	10			
14	SECO		7	517	261	878	1	878	1932	1991	9	10
15		504		262	881	1.04	916	2016	8			
16		503		240	808	1.04	840	1849	12			
17	SATURADO	496		238	801	1.09	873	1921	1880	11		
18		504		243	818	1.04	851	1871.584	10			

Tabla 4-10 Resultados de la Estabilidad y Flujo con Agregados de la Mina Rosita

4.2.8 RESULTADOS OBTENIDOS

Con los datos obtenidos se realiza gráficos de cada una de las características: Estabilidades, fluencia y densidad Bulk, relacionándolas con los porcentajes de emulsión.

Cada gráfica conectara los puntos por medio de una curva suavizada que se ajuste de mejor forma a cada uno de los resultados.

El porcentaje de pérdida de estabilidad se compara con el contenido de Emulsión Asfáltica no como criterio de diseño, pero si se debe comparar de no superar los límites.

Se utiliza la fórmula anteriormente propuesta.

Porcentaje de Pérdida de Estabilidad

$$= \left(\frac{\text{Estabilidad Seca} - \text{Estabilidad Saturada}}{\text{Estabilidad Saturada}} \right) * 100$$

Propiedad Volumétrica

DENSIDAD BULK

Porcentaje de Emulsión	Densidad Bulk
%	Kg/m3
5	1840
6	1865
7	1890

Tabla 4-11 Densidad Bulk (Mina Corazón)

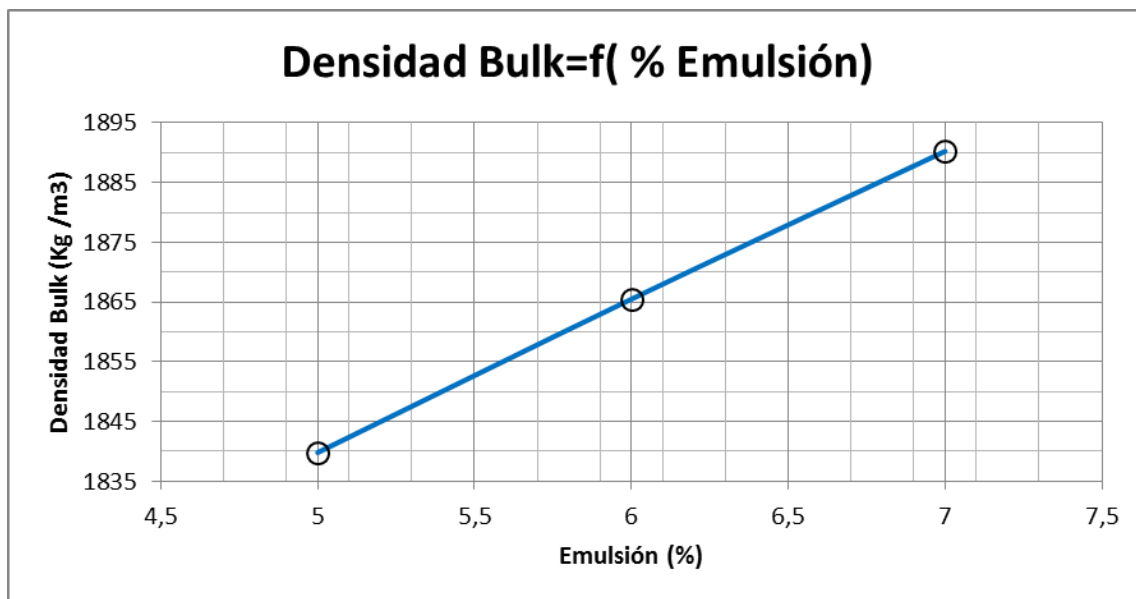


Figura 4-2 Densidad Bulk v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Mina Corazón

Porcentaje de Emulsión	Densidad Bulk
%	Kg/m3
5	1960
6	1980
7	1992

Tabla 4-12 Densidad Bulk (Mina Rosita)

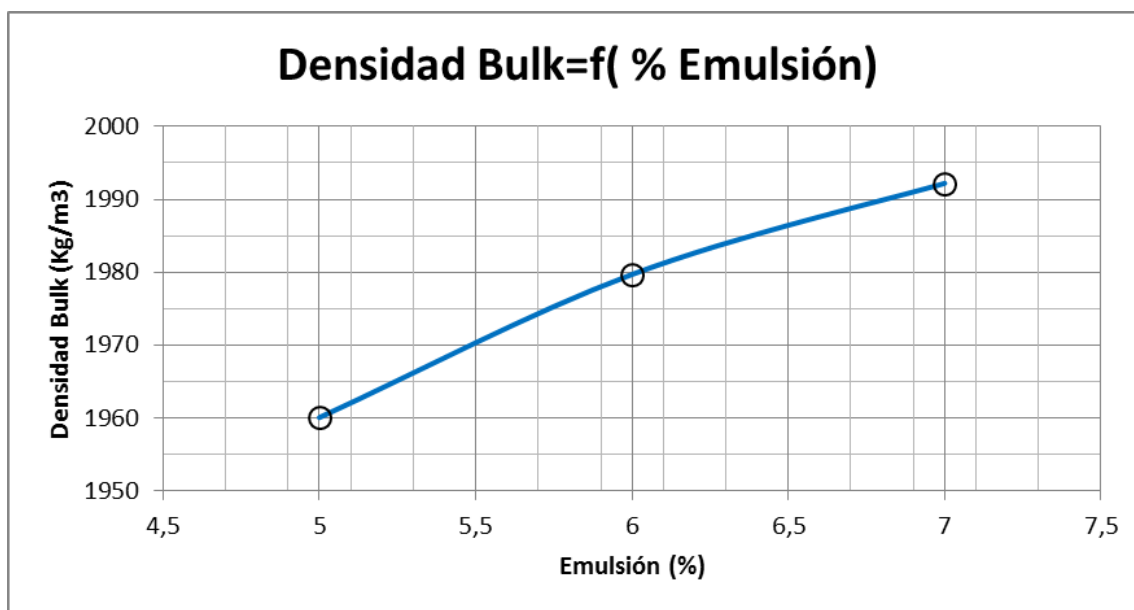


Figura 4-3 Densidad Bulk v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Mina Rosita

En las gráficas se observa que al aumentar la cantidad de emulsión se ve un incremento en la densidad Bulk de la mezcla compactada.

Propiedades de Mezcla Compactada

ESTABILIDAD SECA Y SATURADA

Porcentaje de Emulsión	Estabilidad Seca	Estabilidad Saturada
%	Lib. Min	Lib. Min
5	403	339
6	747	675
7	1413	1319

Tabla 4-13 Estabilidad Seca y Saturada (Mina Corazón)

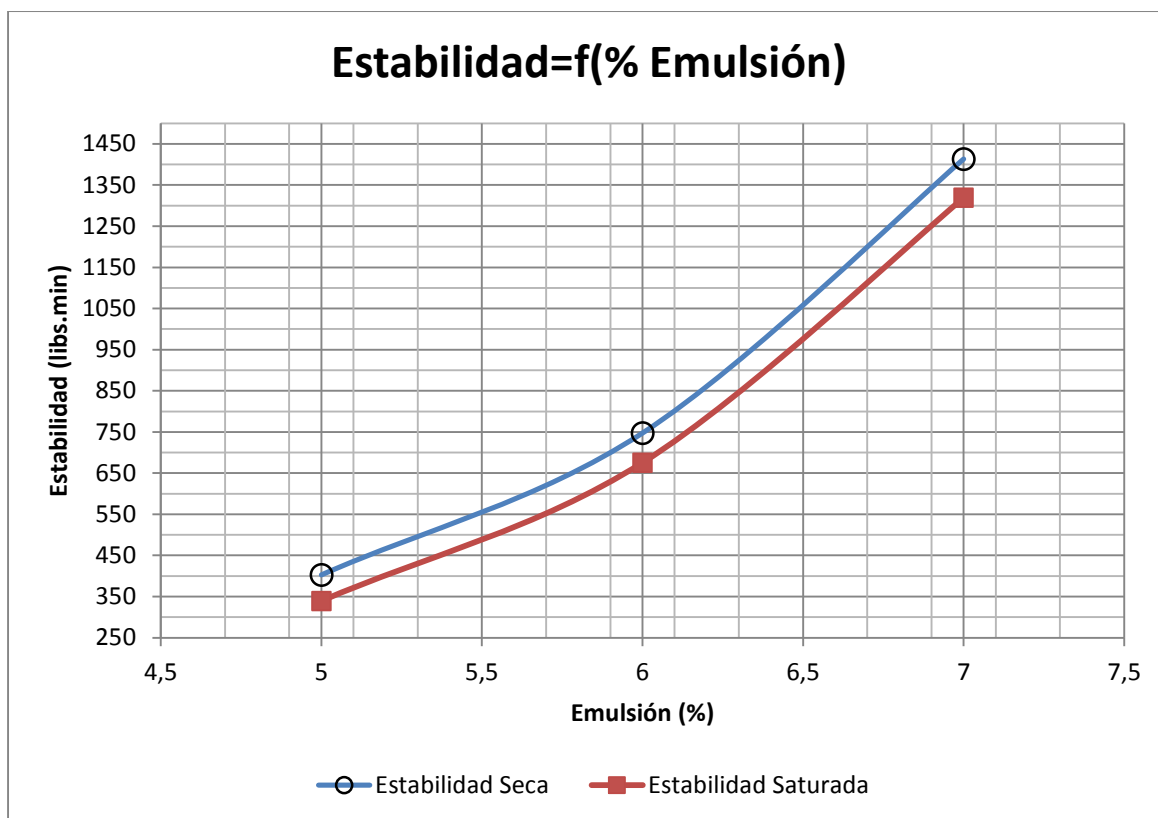


Figura 4-4 Estabilidad seca y saturada v/s Contenido de Emulsión Mina Corazón

Porcentaje de Emulsión	Estabilidad Seca	Estabilidad Saturada
%	Libs. Min	Libs. Min
5	708	615
6	1305	1195
7	1991	1880

Tabla 4-14 Estabilidad Seca y Saturada (Mina Rosita)

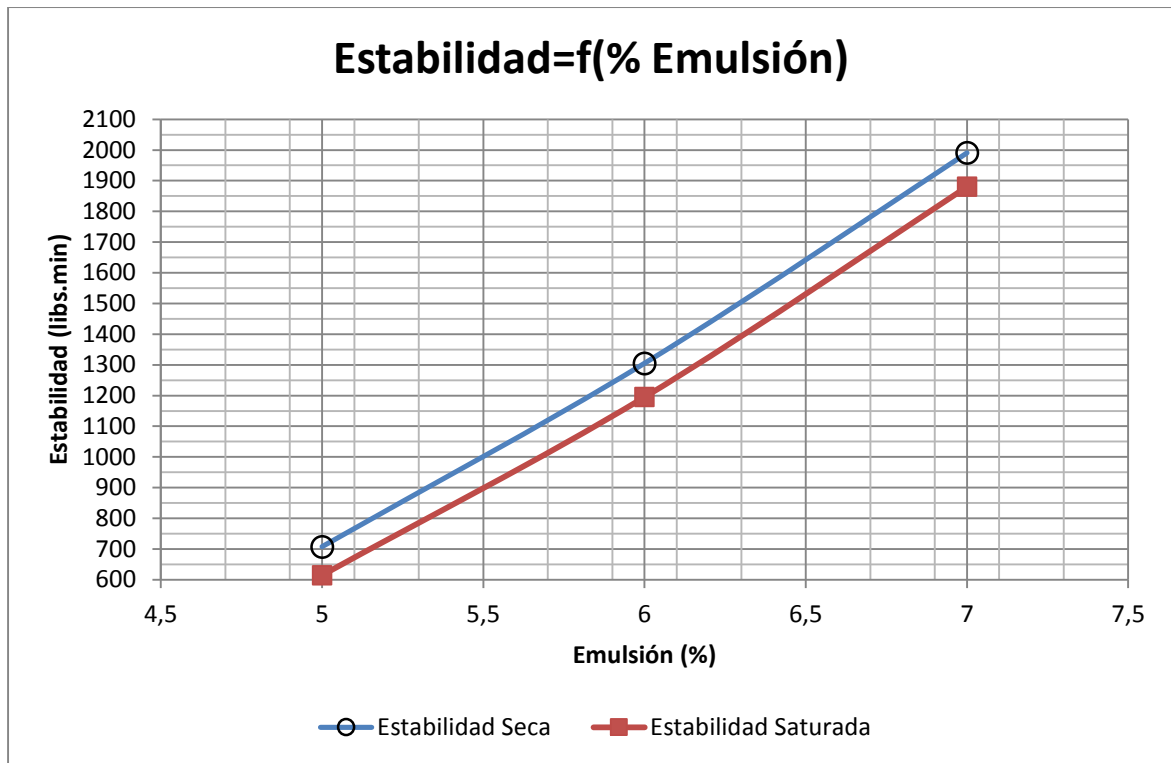


Figura 4-5 Estabilidad seca y saturada v/s Contenido de Emulsión Mina Rosita

Al graficar la Estabilidad Seca vs el porcentaje de emulsión y la Estabilidad Saturada vs el porcentaje de emulsión se forman curvas parabólicas negativas con ejes de simetría paralela al eje y; son curvas muy similares a las curvas típicas para este tipo de materiales en rango inferior que se está trabajando. Se puede ver claramente que al incrementar un porcentaje de emulsión se aumentan las estabilidades seca y saturada.

Los valores de estabilidad seca obtenidos para la base estabilizada con agregados de la Mina Corazón van desde 403 lbs.min a 1413 lbs.min para los porcentajes escogidos de 5,6 y 7% de emulsión; los valores menores a 750 lbs.min, son rechazados.

El valor mínimo de emulsión para superar las 750 lbs.min de estabilidad seca es 6.0% de emulsión.

El valor mínimo de emulsión para superar las 750 lbs.min de estabilidad saturada es 6.2 % de emulsión.

Los valores de estabilidad seca obtenidos para la base estabilizada con agregados de la Mina Rosita van desde 708 lbs.min a 1991 lbs.min para los porcentajes escogidos de 5,6 y 7% de emulsión; los valores menores a 750 lbs.min, son rechazados.

El valor mínimo de emulsión para superar las 750 lbs.min de estabilidad seca es 5.1 % de emulsión.

El valor mínimo de emulsión para superar las 750 lbs.min de estabilidad saturada es 5.3 % de emulsión.

La estabilidad saturada en la gráfica nos indica que existe influencia del agua en la base asfáltica, sin embargo deberá ser analizada para determinar cantidad.

FLUJO

Porcentaje de Emulsión	Flujo
%	(1/100")
5	5
6	6
7	8

Tabla 4-15 Flujo (Mina Corazón)

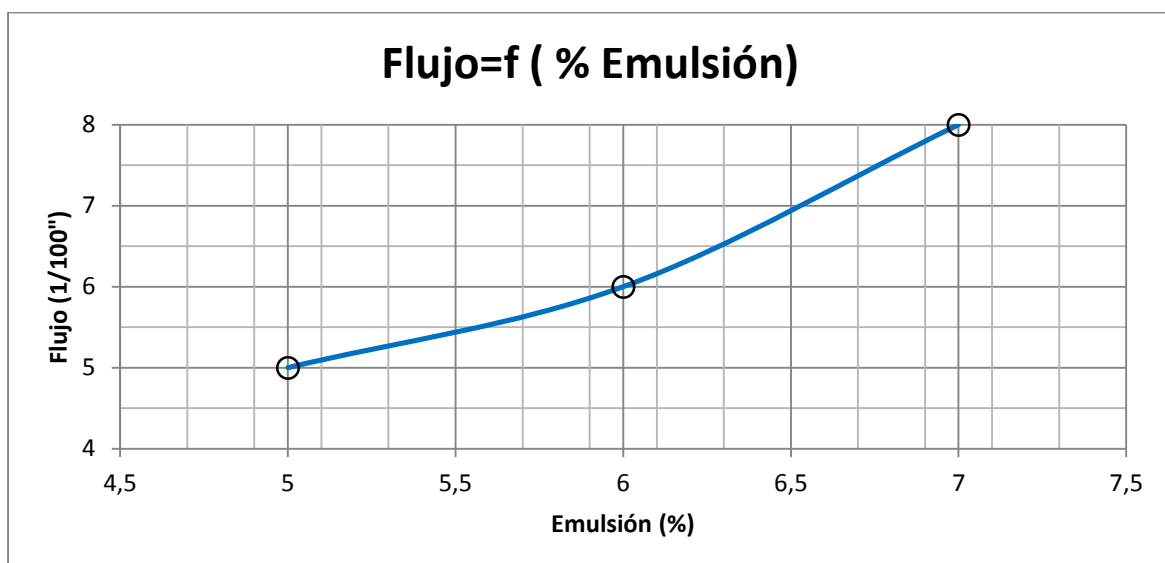


Figura 4-6 Flujo v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Mina Corazón

Porcentaje de Emulsión	Flujo
%	(1/100")
5	6
6	8
7	10

Tabla 4-16 Flujo (Mina Rosita)

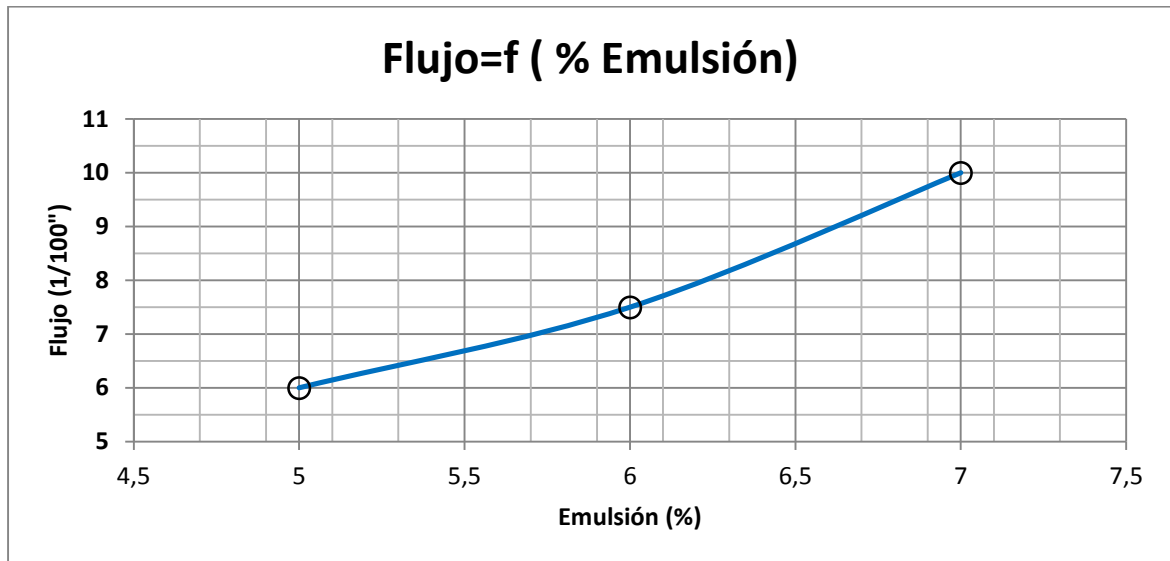


Figura 4-7 Flujo v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Mina Rosita

Al graficar el Flujo vs el porcentaje de emulsión se forman funciones semejantes a funciones lineales con pendientes positivas; estas son funciones típicas para este tipo de materiales.

En las gráficas se puede observar que a un incremento de emulsión se incrementa el valor del flujo

El valor para el flujo de la base estabilizada con agregados de la Mina Corazón está entre 5 y 8 (1/100”) para los porcentajes ensayados emulsión.

El valor para el flujo de la base estabilizada con agregados de la Mina Rosita está entre 6 y 10 (1/100”) para los porcentajes ensayados emulsión.

Los valores de flujo obtenidos serán aceptados; porque los valores propuestos para este tipo de aplicación deben ser de 5 a 18. (1/100”)

PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE ESTABILIDAD

Porcentaje de Emulsión	Estabilidad Seca Promedio	Estabilidad Saturada Promedio	Porcentaje Pérdida Estabilidad
	Lbs. Min	Lbs. Min	
5	403	339	18,65
6	747	675	10,65
7	1413	1319	7,15

Tabla 4-17 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad Mina Corazón

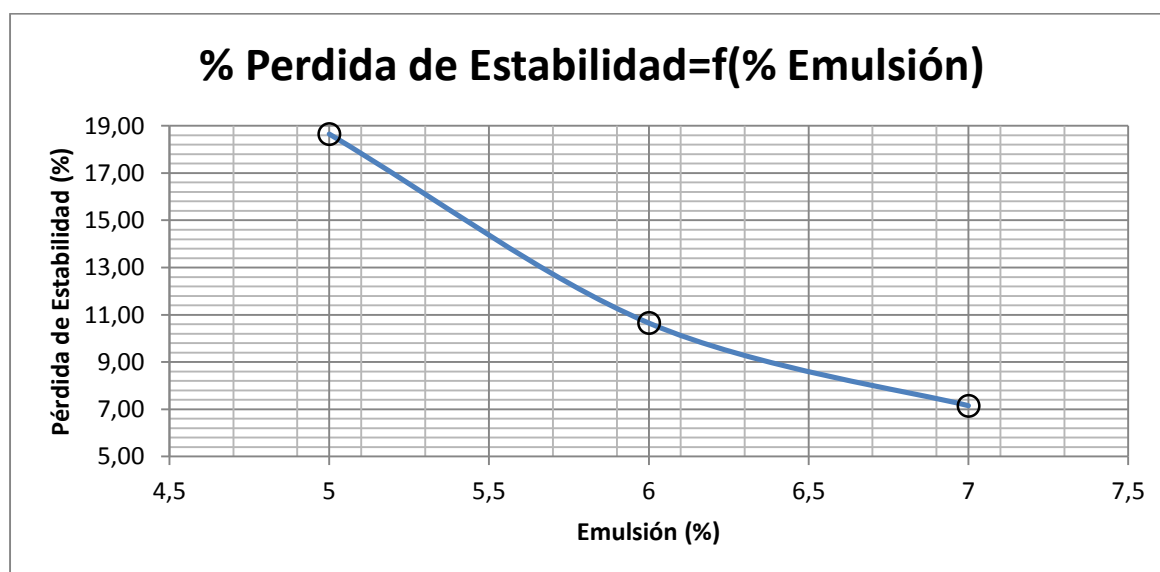


Figura 4-8 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad (Mina Corazón)

Porcentaje de Emulsión	Estabilidad Seca Promedio	Estabilidad Saturada Promedio	Porcentaje Pérdida Estabilidad
	Libs. Min	Libs. Min	
5	708	615	15.16
6	1305	1195	9.23
7	1991	1880	5.87

Tabla 4-18 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad Mina Rosita

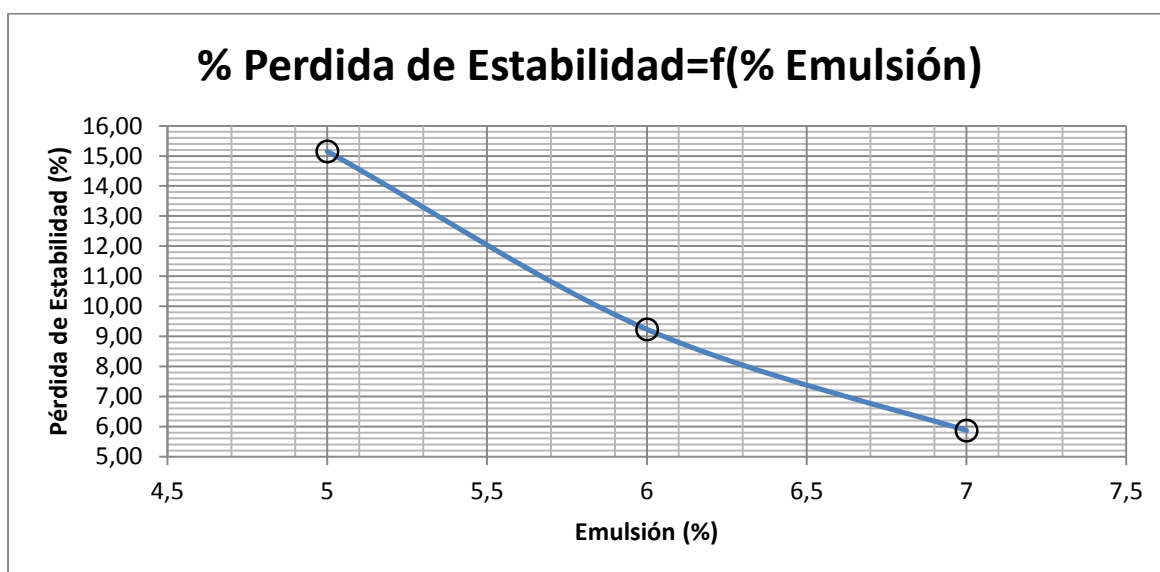


Figura 4-9 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad (Mina Rosita)

Al graficar las Pérdidas de Estabilidad vs el porcentaje de emulsión se forman unas curvas parabólica positiva con eje de simetría en el eje y; al no ser un parámetro de diseño obligado se controla que no supere el 25% del porcentaje de pérdida.

Como se puede ver en las gráficas al aumentar la cantidad de emulsión se ve una disminución en el porcentaje de pérdida de estabilidad

La pérdida de estabilidad es aceptable para el porcentaje de emulsión de 5%. La base estabilizada con agregados de la Mina Corazón tiene una pérdida de 18.65 % y la base estabilizada con agregados de la Mina Rosita tiene una pérdida de 15.16%; para porcentajes mayores de Emulsión la Pérdida se reduce.

4.3 CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO

El contenido óptimo de asfalto residual es el resultado de realizar el análisis de todos los gráficos propuestos para la emulsión y convertir ese porcentaje óptimo de emulsión a porcentaje de asfalto residual, el porcentaje que existe de asfalto en la emulsión, en este caso 60%.

Existen muchos criterios para evaluar una mezcla asfáltica uno de estos criterios es el de promediar los valores recomendables de las propiedades evaluadas, en este caso particular de la estabilización de materiales se buscará el mínimo porcentaje de emulsión que cumpla un requerimiento.

Este valor óptimo debe ser definido según la mejor combinación de la estabilidad Marshall (seca y saturada), flujo y la densidad Bulk.

Para la determinación del valor óptimo de emulsión existen diferentes criterios según la aplicación, en este caso particular se toma el criterio que el porcentaje óptimo es el mínimo porcentaje que cumple con los requerimientos expuestos de 750 lib.min de estabilidad y 5 a 18 (1/100") de flujo, que son las condiciones que se deben cumplir en nuestro país para este tipo de estabilizaciones.

Se demostró que existe influencia de la humedad en la Estabilidad de la base, para garantizar nuestro diseño, se tomaran los valores mínimos que garantizan las estabilidades saturadas de 750 lib. min.

La densidad Bulk de la mezcla compactada es un parámetro de comparación no de diseño.

Propiedad de La Base Estabilizada	Valor	Unidad
Porcentaje Mínimo de Emulsión	6.2	%
Densidad Bulk	1867	Kg/m3
Estabilidad	750	Lib. Min
Flujo	6	(1/100")
Porcentaje de Agua que se debe Agregar (Pre-Mezcla)	7.8	%

**Tabla 4-19 Propiedades de la Base Estabilizada para el Porcentaje Mínimo de Emulsión
(Mina Corazón)**

Propiedad de La Base Estabilizada	Valor	Unidad
Porcentaje Mínimo de Emulsión	5.3	%
Densidad Bulk	1965	Kg/m3
Estabilidad	750	Lib. Min
Flujo	6	(1/100")
Porcentaje de Agua que se debe Agregar (Pre-Mezcla)	6.5	%

Tabla 4-20 Propiedades de la Base Estabilizada para el Porcentaje Mínimo de Emulsión (Mina Rosita)

CAPÍTULO V

5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

INTRODUCCIÓN.

En éste capítulo se presenta un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, realizados con los agregados utilizados, en base a la normativa INEN; además en muchos casos se coincide con normas internacionales comúnmente aceptadas en nuestro medio como las normas ASTM y AASHTO , donde se establecen las especificaciones que deben cumplir los agregados para su uso en bases estabilizadas con emulsión asfáltica y los ensayos de laboratorio de comprobación que sirvan para la aceptación de las mismas.

El presente análisis muestra los resultados basándonos propiedades de las bases estabilizada con emulsión según procedimientos propuestos por el Instituto del Asfalto en su publicación Manual Básico de Emulsiones.

Para el análisis de los datos se utilizaron procedimientos comunes como son la comparación de diferentes propiedades de la mezcla compactada contra el contenido de Emulsión Asfáltica.

Se determina la densidad Bulk de la mezcla compactada para las probetas como propiedad volumétrica importante de las briquetas elaboradas con la metodología Marshall Modificada para su uso en Mezclas Frías.

Con las propiedades de las mezclas compactadas y el parámetro volumétrico de la mezcla asfáltica, se determina el contenido óptimo de emulsión asfáltica, que será el mínimo para cumplir con las condiciones requeridas.

La norma del MOP no establece el parámetro de Estabilidad Retenida, pero en nuestro medio por la presencia de Humedad es un parámetro que debe ser evaluado.

5.1 RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS

5.1.1 RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS CON LOS AGREGADOS

Análisis Granulométrico

Se realizaron pruebas granulométricas a las diferentes muestras de agregados pétreos ripio y arena, utilizando la norma AASHTO T -27, sin embargo al no poderse utilizar un solo material para obtener la granulometría especificada se combinaron en ciertas proporciones el ripio y la arena como se expone. Comprobado el cumplimiento de normas se procede a la catalogación de este material para su uso como base estabilizada con emulsión.

Los resultados se exponen en las siguientes tablas

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA		GRADUACION COMBINADA		MEZCLA	ESPECIFICADO		ESPECIFICADO	
			60%	40%		CLASE 1 TIPO B		CLASE B	
	RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA		GRANULAR		ESTABILIZADA	
1 1/2"	100	100	60	40	100	100	100	100	100
1"	78	100	47	40	87	70	100	70	100
3/4"	57	100	34	40	74	60	90	60	90
1/2"	40	100	24	40	64				
3/8"	27	99	16	40	56	45	75	45	75
Nº4	8	95	5	38	43	30	60	30	60
Nº8	8	79	5	32	36	20	50	20	50
Nº10	7	76	4	31	35				
Nº40	5	38	3	15	18	10	25	5	30
Nº200	2	10	1	4	5	2	12	0	5

Tabla 5-1 Granulometría de la Mezcla de Agregados (Ripio y Arena) de la Mina Corazón

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA		GRADUACION COMBINADA		MEZCLA	ESPECIFICADO		ESPECIFICADO	
			65%	35%		CLASE 1 TIPO B		CLASE B	
	RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA		ESPECIFICADO		ESTABILIZADA	
1 1/2"	100	100	65	35	100	100	100	100	100
1"	93	100	60	35	95	70	100	70	100
3/4"	85	100	55	35	90	60	90	60	90
1/2"	66	100	43	35	78				
3/8"	53	99	35	35	69	45	75	45	75
Nº4	27	93	18	33	50	30	60	30	60
Nº8	19	75	12	26	39	20	50	20	50
Nº10	18	72	11	25	37				
Nº40	9	35	6	12	18	10	25	5	30
Nº200	2	12	1	4	5	2	12	0	5

Tabla 5-2 Granulometría de la Mezcla de Agregados (Ripio y Arena) de la Mina Rosita

Resumen de las Propiedades Ensayadas

Propiedad	Norma	Valor Obtenido
Peso Unitario		
Ripio	ASTM C- 29	Suelto = 1216 Kg/m ³
		Compactado = 1390 Kg/m ³
Arena	ASTM C- 29	Suelta = 1538 Kg/m ³
		Compactada = 1643 Kg/m ³
Abrasión	AASHTO T 96	61%
Equivalente de Arena	AASHTO T 176	47.18%
Colorimetría	ASTM C 40	Aprobado Para Uso
Determinación del Porcentaje de Caras Fracturadas		
Dos Más Caras Fracturadas	ASTM D 5821	94%
Límites De Atterberg		
Límite Plástico	AASHTO T-90	16.4
Límite Líquido	AASHTO T-89	16.1
Índice Plástico		Np
Próctor Modificado		
Máxima Densidad Seca	AASHTO T -180	1942 Kg/m ³
Humedad Óptima	AASHTO T -180	10.75 %
Ensayo CBR	ASTM D 1883	Al 100% = 69 %

Tabla 5-3 Resumen de Propiedades Ensayadas para Agregados de Mina Corazón

Propiedad	Norma	Valor Obtenido
Peso Unitario		
Ripio	ASTM C- 29	Suelto =1347 Kg/m3
		Compactado = 1442 Kg/m3
Arena	ASTM C- 29	Suelta = 1635 Kg/m3
		Compactada = 1740 Kg/m3
Abrasión	AASHTO T 96	59%
Equivalente de Arena	AASHTO T 176	51.8%
Colorimetría	ASTM C 40	Aprobado Para Uso
Determinación del Porcentaje de Caras Fracturadas		
Dos más Caras Fracturadas	ASTM D 5821	88%
Límites de Atterberg		
Límite Plástico	AASHTO T-90	13.5
Límite Líquido	AASHTO T-89	13.3
Índice Plástico		Np
Próctor Modificado		
Máxima Densidad Seca	AASHTO T -180	2004 Kg/m3
Humedad Óptima	AASHTO T -180	8.8 %
Ensayo CBR	ASTM D 1883	AL 100% = 71 %

Tabla 5-4 Resumen de Propiedades Ensayadas para Agregados de Mina Rosita

5.1.2 RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS CON LAS BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

Previo a la compactación de las probetas, el Método seguido sugiere una serie de ensayos importantes que deben ser realizados, en las siguientes tablas se indica los valores obtenidos

5.1.2.1 Resumen de Propiedades Previas a La Compactación de Las Probetas

Propiedad	Norma	Valor Obtenido
Agregado Grueso (Ripio)	ASTM C – 127	
Gravedad Especifica de Masa		2.305 g/cm ³
Gravedad Especifica SSS		2.404 g/cm ³
Gravedad Especifica Aparente		2.558 g/cm ³
Porcentaje de Absorción		4.286 %
Agregado Fino (Arena)	ASTM C – 128	
Gravedad Especifica de Masa		2.511 g/cm ³
Gravedad Especifica SSS		2.521 g/cm ³
Gravedad Especifica Aparente		2.537 g/cm ³
Porcentaje de Absorción		0.402 %
Mezcla de Agregados		
Gravedad Especifica de Masa		2.373 g/cm ³
Porcentaje de Absorción		0.977 %

Tabla 5-5 Peso Específico y Absorción (Mina Corazón)

Propiedad	Norma	Valor Obtenido
Agregado Grueso (Ripio)	ASTM C – 127	
Gravedad Especifica de Masa		2.370 g/cm ³
Gravedad Especifica SSS		2.488 g/cm ³
Gravedad Especifica Aparente		2.687 g/cm ³
Porcentaje de Absorción		4.976 %
Agregado Fino (Arena)	ASTM C – 128	
Gravedad Especifica de Masa		2.618 g/cm ³
Gravedad Especifica SSS		2.625 g/cm ³
Gravedad Especifica Aparente		2.635 g/cm ³
Porcentaje de Absorción		0.241 %
Mezcla de Agregados		
Gravedad Especifica de Masa		2.464 g/cm ³
Porcentaje De Absorción		0.561 %

Tabla 5-6 Peso Específico y Absorción (Mina Rosita)

Otros Ensayos

Ensayo	Resultado
Recubrimiento (5.25% Emulsión Tentativo)	Mínimo Aceptable 10.2 % Humedad
Adherencia (5.25% Emulsión Tentativo)	Mínimo Aceptable 10.2 % Humedad

Tabla 5-7 Ensayos de Recubrimiento y Adherencia a la Base con Emulsión Asfáltica (Mina Corazón)

Ensayo	Resultado
Recubrimiento (5.81% Emulsión Tentativo)	Mínimo Aceptable 8.6 % Humedad
Adherencia (5.81% Emulsión Tentativo)	Mínimo Aceptable 8.6 % Humedad

Tabla 5-8 Ensayos de Recubrimiento y Adherencia a la Base con Emulsión Asfáltica (Mina Rosita)

Procedencia	Mina Corazón		Mina Rosita	
Propiedad de La Base Estabilizada	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Porcentaje Mínimo de Emulsión	6.2	%	5.3	%
Densidad Bulk	1867	Kg/m ³	1965	Kg/m ³
Estabilidad Seca	750	Lib. Min	750	Lib. Min
Flujo	6	(1/100")	6	(1/100")
Porcentaje de Agua que se debe Agregar (Pre-Mezcla)	7.8	%	6.5	%

Tabla 5-9 Propiedades de las Base Estabilizadas para el Porcentaje Mínimo de Emulsión

5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y GRÁFICOS

De los resultados expuestos anteriormente se realiza el análisis primeramente del ¿por qué es necesario estabilizar este tipo de agregados para el uso requerido?, comparándolo con las normas del MOP;

Existen valores de ensayos que no tienen una comparación con la norma por este motivo no se los analizará, pero son útiles para otras etapas como en el diseño.

Posteriormente se analiza los valores obtenidos con la estabilización para determinar el porcentaje óptimo de emulsión.

5.2.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Al analizar los resultados del análisis granulométrico se puede observar claramente que estamos trabajando con partículas pasantes del tamiz de 1 ½ pulgadas hasta pasante del tamiz N° 200.

Para los agregados de la Mina Corazón fue necesaria una combinación de 60% de ripio y 40% de arena; y para la Mina Rosita 65 % de ripio y 35% de arena.

Con esta combinación se consiguió cumplir con la máxima granulometría sugerida posible para estos agregados según su tamaño; para esto nos valimos del método por tanteos para combinar agregados buscando valores medios en los límites granulométricos propuestos.

Primeramente se catalogó a los materiales como: Material Granular CLASE 1 tipo B propuesta por el MOP y como Material Granular para Estabilización con Emulsión Asfáltica Clase B.

Para la utilización del método propuesto por el Instituto Americano del Asfalto para la estabilización de este tipo de material también se cumplió con la granulometría propuesta para estos materiales.

5.2.2 PROPIEDADES REQUERIDAS POR EL MOP PARA ACEPTACIÓN DE MATERIALES GRANULARES

El porcentaje de desgaste a la abrasión es un limitante para la aceptación de materiales granulares como es el de estos agregados al ser de origen volcánico presentan un alto grado de desgaste, el valor establecido como máximo es de 40 por ciento, con los materiales utilizados se superó para la Mina Corazón se tuvo un 61% de desgaste y para la Mina Rosita se tuvo un 59% de desgaste, este material no se permitiría para su utilización, sin embargo el Instituto del Asfalto permite su utilización para estabilización con emulsión Asfáltica debido a las bondades de este material.

El equivalente de arena se realiza con los agregados pasantes del tamiz INEN 4.75 mm, debe tener un valor mínimo de 35%, el material de la Mina Corazón tuvo un valor de 47.18% y el material de la Mina Rosita tuvo un valor de 51.8%, esta propiedad es aceptada.

La calorimetría es un aspecto que muchas veces es poco tomado en cuenta, indica el contenido de materia orgánica, se realizó el ensayo bajo la norma ASTM C 40 estos materiales granulares fueron aprobados para el uso.

Los agregados gruesos retenidos por el tamiz INEN 4.75 mm deben cumplir con cierta angularidad, esta propiedad es conocida como la determinación del porcentaje de caras fracturadas, se la realizó bajo la norma ASTM D 5821, el MOP sugiere se cumpla al menos con el 75% de dos o más caras

fracturadas, los materiales granulares de la Mina Corazón obtuvieron un valor de 94% y los de la Mina Rosita 93%, con lo que cumplen con lo requerido.

El índice plástico se determinó con la diferencia entre el límite plástico y el límite líquido, se lo determina con el pasante del Tamiz N° 40 (0.425 mm), este índice debe ser menor a 4, para los agregados de la Mina Corazón y Mina Rosita fueron NP, no presentan índice plástico.

El ensayo Próctor Modificado sirve para la determinación de la humedad óptima de compactación y la densidad máxima seca, no especifica para este uso, sin embargo es muy utilizada con bases granulares; se realiza bajo la norma ASTM D 1883, para los materiales granulares de la Mina Corazón se obtuvo los siguientes valores: Máxima Densidad Seca 1942 Kg/m³ y Humedad Óptima 10.75% y para los materiales granulares de la Mina Rosita se obtuvo los siguientes valores: Máxima Densidad Seca 2004 Kg/m³ y Humedad Óptima 8.8%.

El ensayo CBR es un indicador de capacidad portante del suelo, en este caso de los agregados, se lo realiza bajo la norma ASTM D 1883, no es necesario para bases estabilizadas, pero si es tomado para el caso de bases granulares, el MOP sugiere que debe ser cumplido al 100% en bases, para bases es común utilizar un valor mínimo de 80%. El ensayo CBR dio como resultado para los agregados utilizados para la Mina Corazón 69% y para la Mina Rosita 71%, este resultado indica que son bases pobres en resistencia, sin embargo no están tan lejanas de los mínimos.

Debido a no cumplir valores mínimos en ciertos ensayos como el ensayo de abrasión y CBR estos materiales son rechazados para ser empleados como agregados que formen bases granulares; pero son muy aptos para realizar con ellos una estabilización con emulsión asfáltica intentando que no se sobre pase los límites recomendados.

5.2.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS CON LAS BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

Previo a la compactación de las probetas, el Método seguido sugiere una serie de ensayos importantes que deben ser realizados, en las siguientes tablas se indica los valores obtenidos

Resumen de Propiedades Previas a La Compactación de Las Probetas

Peso Específico y Absorción

La determinación de valores de peso específico (gravedad específica) y absorción, se los determino utilizando la norma ASTM C – 127 y ASTM C 128, no existe limitación para estos valores, se los tiene de referencia porque un agregado más poroso absorbe más cantidad de agua y de emulsión, se los determino para Agregado grueso y para agregado Fino, para luego en base a estos determinar las propiedades combinados como base, los valores obtenidos para la mezcla de agregados a

estabilizar de la Mina Corazón son: Gravedad específica de masa 2.373 g/cm³ y Porcentaje de Absorción 0.977 %. Los valores obtenidos para la mezcla de agregados a estabilizar de la Mina Rosita son: Gravedad específica de masa 2.464 g/cm³ y Porcentaje de Absorción 0.561 %

Otros Ensayos

El ensayo de Recubrimiento se realizó manteniendo constante el porcentaje tentativo de emulsión calculada de forma teórica, por tener granulometrías similares, se determinó realizarlo con 5.25% y 5.81 % de emulsión para la Mina Corazón y Mina Rosita respectivamente, se fue agregando diferente cantidad de agua, partiendo del porcentaje de humedad obtenida en el ensayo Próctor Modificado y tomando en cuenta la cantidad de agua que posee la emulsión.

Con valores inferiores a 10.2% de Humedad no hubo una cobertura adecuada con los agregados de la Mina Corazón y 8.6% para los agregados de la Mina Rosita, para cantidades superiores se notó un buen recubrimiento pero un exceso de emulsión.

Se extrajo parte del material preparado para el ensayo de Recubrimiento, con los porcentajes mínimos y se realizó el ensayo de adherencia buscando que la separación del asfalto de los agregados, aquí se ratificó la cantidad de humedad adicionada a la mezcla y la poca separación del asfalto de los agregados.

Análisis de Las Propiedades de Mezclas Compactadas con Equipo Marshall

La determinación del contenido óptimo de emulsión para que se cumplan requerimientos de diseño es el objetivo buscado, de un diseño Marshall, de los resultados de los ensayos se concluye que para porcentajes menores de 6.2 % de emulsión en el caso de las Base Estabilizada con los Agregados de la Mina Corazón y 5.3 % para el caso de la Base Estabilizada con los Agregados de la Mina Rosita. No cumplirán con las especificaciones propuestas para este tipo de estabilizaciones.

Se demostró que para valores superiores al contenido óptimo de emulsión se aumenta el desempeño de la base estabilizada, siendo un limitante el costo de la emulsión para obtener mejores resultados de Estabilidades y Flujos.

Los agregados de la Mina Corazón presentan un mayor porcentaje de absorción, por este motivo influye en la cantidad de emulsión y de agua que emplea estabilizar este tipo de material que comparado con los agregados de la Mina Rosita son menores.

Los materiales granulares con conforman las bases estabilizadas son de origen volcánico por lo tanto son porosos, la densidad bulk indica que bases ligeras con poca densidad.

El valor de Flujo es 6 para las dos bases estabilizadas son valores similares; mayor cantidad de emulsión mejora el flujo.

5.3 CUADROS Y TABLAS DE VALORES

5.3.1 COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS DE LAS PROPIEDADES DE MEZCLAS COMPACTADAS CON EQUIPO MARSHALL

Comparación De Los Porcentajes Óptimos Mínimos De Emulsión Asfáltica

Origen de la Base Estabilizada	Estabilidad Mínima Requerida (libs.min)	Porcentaje Mínimo de Emulsión para Estabilidad Seca (%)	Porcentaje Mínimo de Emulsión para Estabilidad Saturada (%)
Mina Corazón	750	6.0	6.2
Mina Rosita	750	5.1	5.3

Tabla 5-10 Comparación de Los Porcentajes Óptimos Mínimos de Emulsión Asfáltica

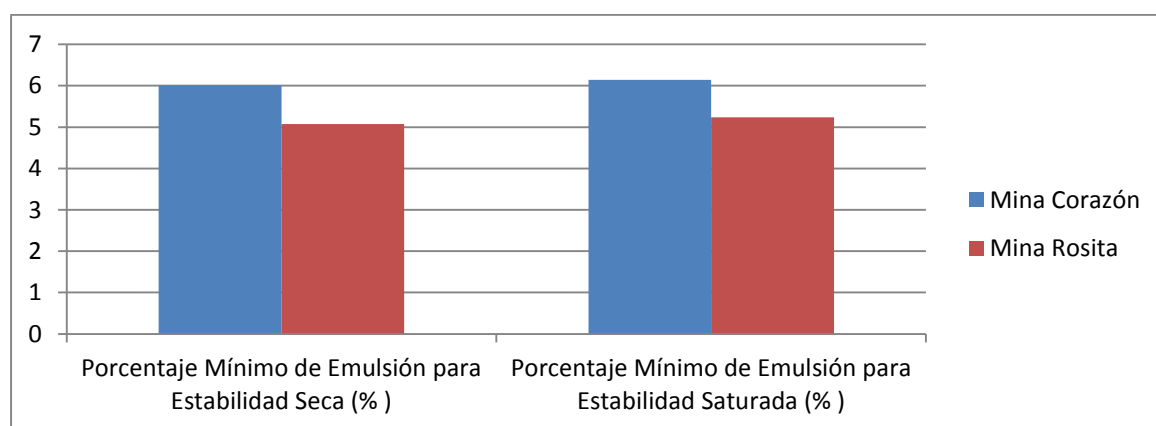


Figura 5-1 Comparación de Los Porcentajes Óptimos Mínimos de Emulsión Asfáltica

Al comparar los materiales utilizados en la base estabilizada provenientes de la Mina Rosita utilizan menor porcentaje de emulsión asfáltica para su estabilización que los provenientes de la Mina Corazón.

5.3.2 COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS DE FLUJO

Origen de la Base Estabilizada	Porcentaje Mínima Emulsión (%)	Flujo (1/100")
Mina Corazón	6.2	6
Mina Rosita	5.3	6

Tabla 5-11 Comparación de Los Valores Obtenidos de Flujo

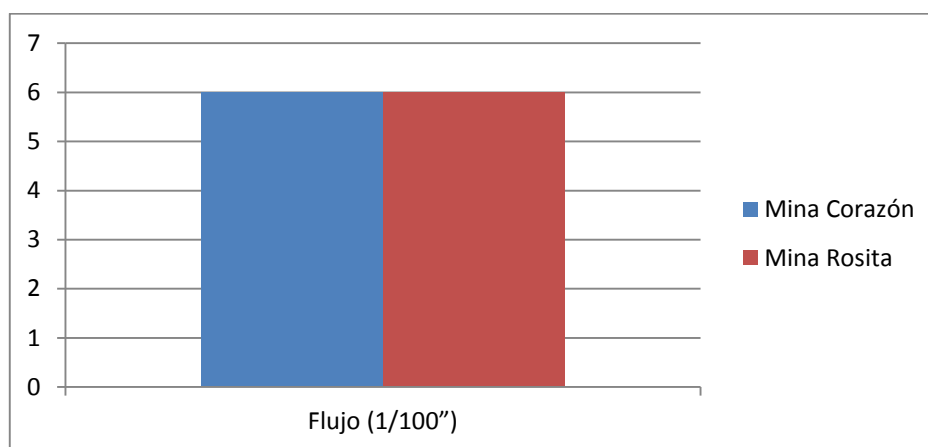


Figura 5-2 Comparación de Los Valores Obtenidos de Flujo

Al comparar el flujo de los materiales utilizados como base estabilizada provenientes de las Minas Rosita y Corazón, determinamos que tiene un flujo similar.

5.3.3 COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS DE PROPIEDAD VOLUMÉTRICA

Comparación de Los Valores Obtenidos de Densidad Bulk

Origen de la Base Estabilizada	Porcentaje Mínimo de Emulsión (%)	Densidad Bulk (Kg/cm3)
Mina Corazón	6.2	1867
Mina Rosita	5.3	1965

Tabla 5-12 Comparación de Los Valores Obtenidos de Densidad Bulk

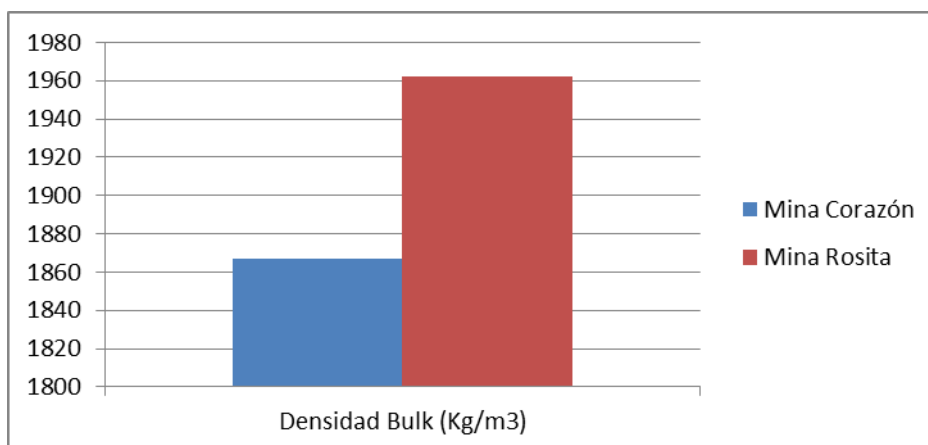


Figura 5-3 Comparación de Los Valores Obtenidos de Densidad Bulk

Al comparar los materiales utilizados como bases estabilizadas, las provenientes de la Mina Rosita tienen mayor densidad los provenientes de la Mina Corazón.

5.4 TOLERANCIA Y ACEPTACIÓN DE RESULTADOS

La aceptación del diseño de la bases estabilizada se realiza comparando con los criterios establecidos por el MOP que establece los requisitos que debe cumplir la mezcla asfáltica a una temperatura de 25 °C; Los criterios anteriormente expuestos de Estabilidad Marshall de 750 lib. Min y Flujo de 5 a 8 (1/100”).

La estabilidad saturada de 750 lib.min se consiguió con la base estabilizada con el material granular de la mina Corazón al agregar 6.2 % de emulsión; para porcentajes inferiores de emulsión se rechaza la estabilización.

La estabilidad saturada de 750 lib.min se consiguió con la base estabilizada con el material granular de la mina Rosita 5.3 % de emulsión; para porcentajes inferiores de emulsión se rechaza la estabilización.

El flujo mínimo de la mezcla de la base estabilizada con el material granular de la mina Corazón es 6 (1/100”) que se encuentra en el rango 5 -18 (1/100”).

El flujo mínimo de la mezcla de la base estabilizada con el material granular de la mina Rosita es 6 (1/100”) que se encuentra en el rango 5 -18 (1/100”).

Cantidad de Emulsión

El instituto del Asfalto en su publicación: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS N° 19 S, propone un rango de porcentajes para la estabilización de este tipo de materiales, este porcentaje está entre 4 a 8 %.

Los porcentajes obtenidos se encuentran en este rango.

La cantidad de asfalto residual es un aspecto importante, en la relación costo beneficio, por experiencias con trabajos anteriores se ha determinado y adoptado como el 3% de Asfalto residual una cantidad mínima que garantiza un costo beneficio. Para valores superiores el beneficio de la estabilización de este tipo de materiales encarece el costo.

Como se estableció en las propiedades de la emulsión, de forma general la relación asfalto y agua es de 60% a 40%.

La cantidad de asfalto residual para la base estabilizada con los agregados de la Mina Corazón es el 60% de la cantidad de emulsión asfáltica, esto es 6.2% de emulsión, se tiene un asfalto residual 3.7 %

La cantidad de asfalto residual para la base estabilizada con los agregados de la Mina Rosita es el 60% de la cantidad de emulsión asfáltica, esto es 5.3 % de emulsión, se tiene un asfalto residual 3.2 %

Comparando los resultados obtenidos con los requisitos mínimos que debe cumplir se demuestra que los diseños de las bases estabilizadas pasan los requerimientos y son aceptados.

Porcentaje de Emulsión para Diseño

En los ensayos se ha demostrado que la base estabilizada ha superado el mínimo propuesto y se observa claramente una ganancia en el coeficiente estructural, pero para el diseño se utiliza el porcentaje de los agregados con mejor rendimiento y menor cantidad de emulsión buscando el mejor costo beneficio.

La base estabilizada con emulsión asfáltica con los agregados de la Mina Rosita de la Mitad del Mundo son los más convenientes.

Para el diseño de la aplicación en la calle Nogales, por los beneficios obtenidos de la estabilización con emulsión, se adoptará una estabilidad para el diseño 1800 libras.min que es muy superior al mínimo de 750 libras.min.

Propiedades de La Base Estabilizada Agregados Mina Rosita	Valor	Unidad
Porcentaje de Emulsión	6.9	%
Densidad Bulk	1889	Kg/m3
Estabilidad Seca	1800	Lib. Min
Flujo	9	(1/100")
Porcentaje de Agua a Agregar (Pre mezcla)	6.0	%

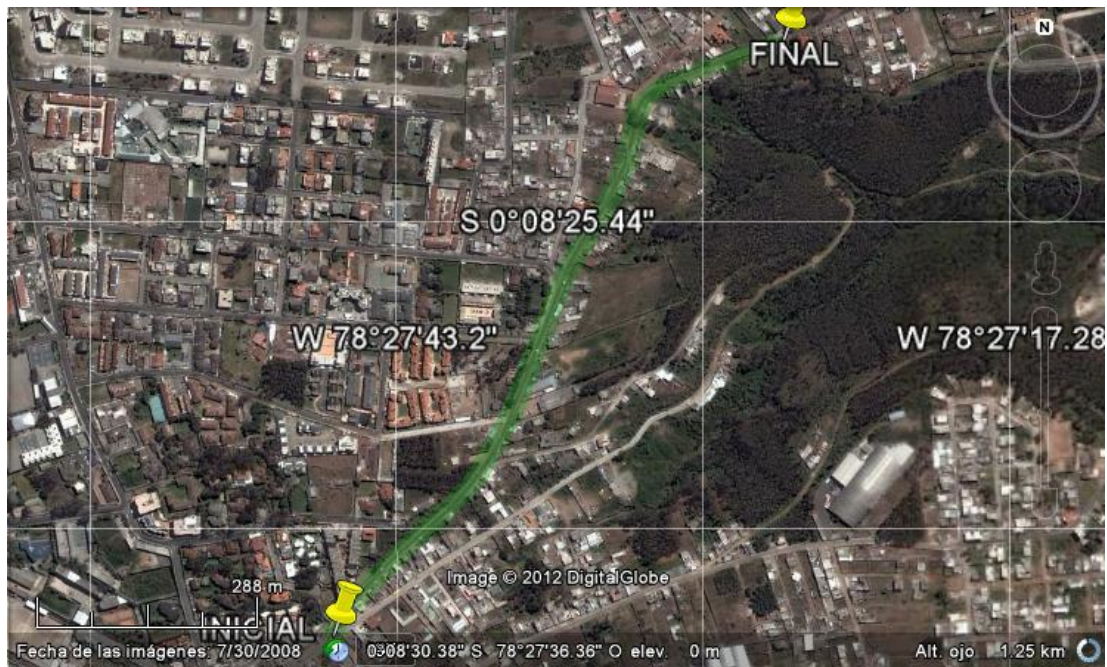
Tabla 5-13 Propiedades de La Base Estabilizada Agregados Mina Rosita para Diseño

CAPÍTULO VI

6 APLICACIÓN EN LA REPAVIMENTACIÓN DE LA CALLE NOGALES, PARROQUIA NAYÓN

6.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se ubica en el nororiente de la ciudad de Quito, inicia en el triángulo, que forma la antigua vía a Gualo, Intersección con la calle los Chamburos, hasta la entrada de Amagásí del Inca; tiene una longitud de 1000 m.



Fotografía 6-1 Ubicación de la Calle Nayón, L= 1Km (WWW.GOOGLE.COM, 2012)

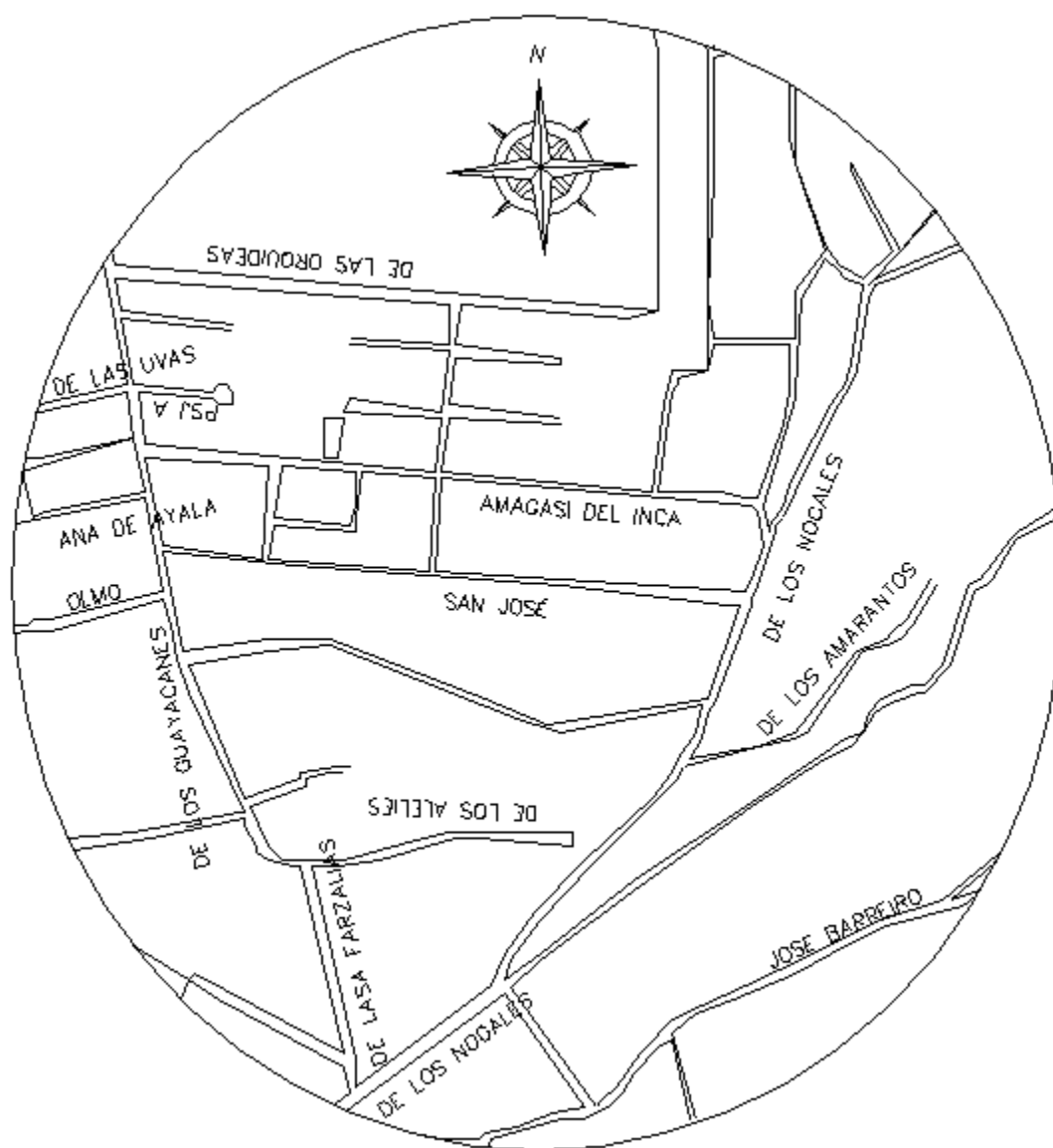


Tabla 6-1 Croquis Ubicación de la Calle Nogales L= 1 Km

Puntos de Inicio y Final del Proyecto

Punto	Longitud	Latitud
Punto Inicial	0°8'43" S	78°27'46" O
Punto Final	0°8'17" S	78°27'26" O

Incremento de Elevación = 2.64 m

Pendiente = 0.26 %

6.2 ENSAYO DEL SUELO NATURAL

La sub-rasante es la capa en la que se apoya la estructura del pavimento y la característica especial que define la propiedad de los materiales que componen la sub-rasante, se conoce como Módulo de Resiliencia (Mr).

La Guía AASHTO, reconoce que en muchos lugares no se poseen equipos adecuados para la para determinación del Módulo de Resiliencia de la sub-rasante y propone el uso del resultado del ensayo de CBR correlacionándolo mediante las siguientes ecuaciones:

- Si CBR. < 7,2% $Mr.(psi) = 1500 \times CBR$
- Si CBR. < 20% $Mr.(psi.) = 3000 \times CBR^{0.65}$
- Si CBR. >20% $Mr.(psi.) = 4326 \times \ln(CBR) + 241.$

La representación mecánica de la sub-rasante para el diseño de espesores de pavimentos es el CBR (Norma ASTM D-1883), debe ser seleccionado muy cuidadosamente, ya que se constituye en un dato fundamental para el diseño del pavimento de la calle.

El valor de CBR de diseño adoptado para la repavimentación es el que determinó la Unidad de Estudios, de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP), al tratarse de una repavimentación de una calle existente ha sido determinado como CBR de Diseño 25%.

Este valor será utilizado para el tramo propuesto para el diseño del pavimento flexible.

6.3 DISEÑO DEL PAVIMENTO

En nuestro país la metodología de Diseño de Pavimentos flexibles adoptada por el MOP es la basada en la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

Este diseño se fundamenta en los siguientes aspectos

- El Método AASHTO proyecta a los pavimentos para que resistan un determinado número de cargas durante su vida útil.

El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos del cálculo , se los transforma un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 KN o 18 Kips, los cuales se les denomina “equivalent simple axial load” o ESAL

Calculo de ESAL para vida del pavimento

ESALo = Ejes Equivalentes para un día

Cálculo de los ejes equivalentes esperados el primer año de uso del pavimento

$$w_{18} = ESAL_o \times 365$$

Cálculo de ejes equivalentes esperados el primer año con ajustes a causa del número de carriles y la distribución direccional

$$w_{18} = DD \times DL \times w_{18}$$

Donde:

DD= distribución direccional crítica (a menos que existan consideraciones especiales, la distribución direccional asigna un 50% del tránsito a cada dirección)

DL= factor de distribución por carril

Número de carriles en una dirección	Porcentaje del ESAL en el carril de diseño, DL
1	100
2	80 a 100
3	60 a 80
4	50 a 75

Tabla 6-2 Factor de Distribución por Carril

Fuente: AASHTO. (1993)

$$ESAL = W_{18} = w_{18} \left[\frac{(1 + g)^t - 1}{g} \right]$$

Donde:

w_{18} = Ejes equivalentes esperados el primer año

g= tasa de crecimiento

t= tiempo de diseño

- La escala de valores soporte del suelo del Método AASHTO ha sido correlacionada a una escala estimada de valores CBR., con el que se considera las condiciones de sub-rasante.

CBR de Diseño = 25%

Si CBR. >20% $Mr.(psi.) = 4326 \times \ln(CBR) + 241$.

$Mr.(psi.) = 4326 \times \ln(25) + 241 = 14166$ psi

El diseño de un pavimento consta de definir su espesor, la resistencia de sus capas además garantizar la durabilidad de sus capas en el tiempo proyectado de servicio

Esto depende de la capacidad de reacción de la sub-rasante, de los factores ambientales y aplicaciones de carga cada vez más frecuentes.

La fórmula de diseño, según el método AASHTO 93 es:

$$\log W_{18} = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log M_R - 8.07$$

Como se puede ver en la ecuación propuesta para el diseño, una variable importante es la pérdida del índice de serviciabilidad ΔPSI en el tiempo proyectado de vida útil del pavimento, en este tiempo se garantizara una adecuada circulación sobre la superficie de rodadura

Parámetros de diseño

- W_{18} : Número esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 ton en el periodo de diseño
- Z_r : Desviación Estándar del error combinado en la predicción del tráfico y comportamiento estructural
- S_o : Error estándar combinado
- SN : Número Estructural, indicador de la Capacidad Estructural requerida (materiales y espesores).
- ΔPSI : Diferencia entre la Serviciabilidad Inicial (P_o) y Final (P_t).
- M_r : Módulo Resiliente de la Sub-rasante (psi)
- a_i : Coeficiente Estructural de la capa i
- D_i : Espesor de la Capa i
- m_i : Coeficiente de Drenaje de la Capa Granular i

Número esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 ton en el periodo de diseño (W_{18})

Para el cálculo del tránsito, el método propuesto está fundamentado en ejes equivalentes sencillos de 18.000 lbs (8.2 Ton) acumulados durante el período de diseño.

$ESAL_o$ = Ejes Equivalentes para un día= 2372

Calculo de los ejes equivalentes esperados el primer año de uso del pavimento

$$\omega_{18} = 2372 \times 365 = 865780$$

Calculo de ejes equivalentes esperados el primer año con ajustes a causa del número de carriles y la distribución direccional

$$w_{18} = DD \times DL \times \omega_{18} = 0.5 \times 1 \times 865780 = 432890$$

$$g = 7.44$$

$$ESAL = W_{18} = w_{18} \left[\frac{(1 + g)^t - 1}{g} \right] = 432890 \left[\frac{(1 + 0.0744)^t - 1}{0.0744} \right]$$

El parámetro de diseño W18 en el carril de diseño se calcula mediante la siguiente fórmula

El valor de W18 adoptado para la repavimentación es el que determinó la Unidad de Estudios, de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP),

W18 para un período de 10 Años = 6100000

W18 para un período de 20 Años = 18600000

Confiabilidad (R)

La confiabilidad en el diseño (R) puede ser definida como la probabilidad que el pavimento tenga un comportamiento real igual o superior al previsto durante la vida de diseño calculada.

La Guía del Método AASHTO 93, propone los niveles de confiabilidad R, de acuerdo al tipo de carreteras

Niveles De Confiabilidad

Clasificación funcional	Nivel de Confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y Vías Rápidas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias Principales	80 - 99	75 – 95
Colectoras	80 - 95	75 – 95
Locales	50 - 80	50 – 80

Tabla 6-3 Niveles de Confiabilidad

Fuente: AASHTO. (1993)

De acuerdo a esta tabla y a las características de la Calle Nogales se determina un nivel de confiabilidad (R) de 95%, por encontrarse en una zona urbana, de clasificación funcional correspondiente a un tipo de vía colectora.

Desviación normal estándar (Z_r)

El tránsito que logra resistir un pavimento a lo después de un prolongado período de diseño se asume que es similar a una ley de distribución normal con una desviación típica (S_o), conociendo esta distribución se obtiene el valor de (Z_r) asociado a un nivel de confiabilidad (R).

Confiabilidad (R %)	Desviación Normal Estándar (Zr)
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Tabla 6-4 Desviación normal estándar (Zr) y Confiabilidad (R %)

Fuente: AASHTO. (1993)

Cada valor de R está relacionado estadísticamente a un valor del coeficiente de (Zr)

De acuerdo a esta tabla y a las características de la Calle Nogales se determina un nivel de confiabilidad (R) de 95%, el valor de (Zr) de 1.645

Error estándar combinado (So)

La Guía del Método AASHTO 93, propone los valores comprendidos de (So) está dentro de los siguientes intervalos:

- Para pavimentos flexibles 0,40 – 0,50
- En construcción nueva 0,35 – 0,40
- En sobre- capas 0,50

De acuerdo a esta clasificación y a las características de la Calle Nogales se determina un error estándar combinado (So) de 0.4 por pavimento flexible

Índice de serviciabilidad

Para la determinación de la serviciabilidad del estado del pavimento se ha dispuesto un rango que va desde el 0 para pavimentos en pésimas condiciones y 5 para pavimentos en perfecto estado.

La serviciabilidad inicial (P_o) tiene una relación directa con el diseño del pavimento y la calidad de construcción de la vía.

La serviciabilidad final o terminal (P_t) tiene una relación a la categoría de la vía y está en función del índice más bajo que pueda ser soportado antes de que sea inevitable efectuar una rehabilitación o una reconstrucción, los valores que recomienda La Guía del Método AASHTO 93 son:

Serviciabilidad inicial:

- $P_o = 4,5$ para pavimentos rígidos
- $P_o = 4,2$ para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final:

- $P_t = 2,5$ o más para caminos principales
- $P_t = 2,0$ para caminos de tránsito menor

Para el diseño de pavimento flexible se adopta un valor de serviciabilidad final $P_t = 2,0$.

En cuanto para el índice de servicio inicial se adopta un valor de $P_o = 4,2$. La pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) se determina con la siguiente fórmula:

$$\Delta PSI = P_t - P_o$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2 = 2.2$$

Periodo de diseño

Aunque no aparece directamente en la fórmula, el cálculo de W_{18} se lo realiza en función del tiempo total para el cual se diseña un pavimento con proyecciones de tránsito.

Todas las obras civiles tienen una vida útil, en el caso del pavimento esta vida está determinada por el tiempo que transcurre desde su construcción hasta el momento que ha reducido su serviciabilidad mínima de diseño.

El período de diseño de un pavimento depende de la importancia y del uso, en la repavimentación de la calle Nogales se calculará para 10 y 20 años.

Es muy común considerar reconstrucciones o reconstrucciones de las vías, en ese caso el período de diseño tomará en cuenta estas reconstrucciones o rehabilitaciones a lo largo del tiempo

Cálculo del número estructural (SN)

El procedimiento de diseño según el método AASHTO, se basa en un número estructural que representa la resistencia estructural de un pavimento con relación a los otros factores como son: valor soporte del suelo (CBR), carga total equivalente a ejes simples de 8018 Kg (W18) e índice de servicio (Po y Pt).

Determinación del número estructural requerido

En base a los datos necesarios analizados para la rehabilitación de la calle Nogales se aplicará en la fórmula para el cálculo del Número estructural necesario.

Para facilitar el cálculo del número estructural se utilizará el método de nomograma propuesto por la ASSHTO y un programa que calcula el mismo número estructural.

CBR de diseño	25 %
Mr	14166 psi
R	95 %
Zr	1645
So	0.4
Po	2
Pt	4.2
ΔPSI	2.2
W18 (10 años)	6100000
W18 (20 años)	18600000

Tabla 6-5 Resumen de los Datos para el cálculo de número estructural

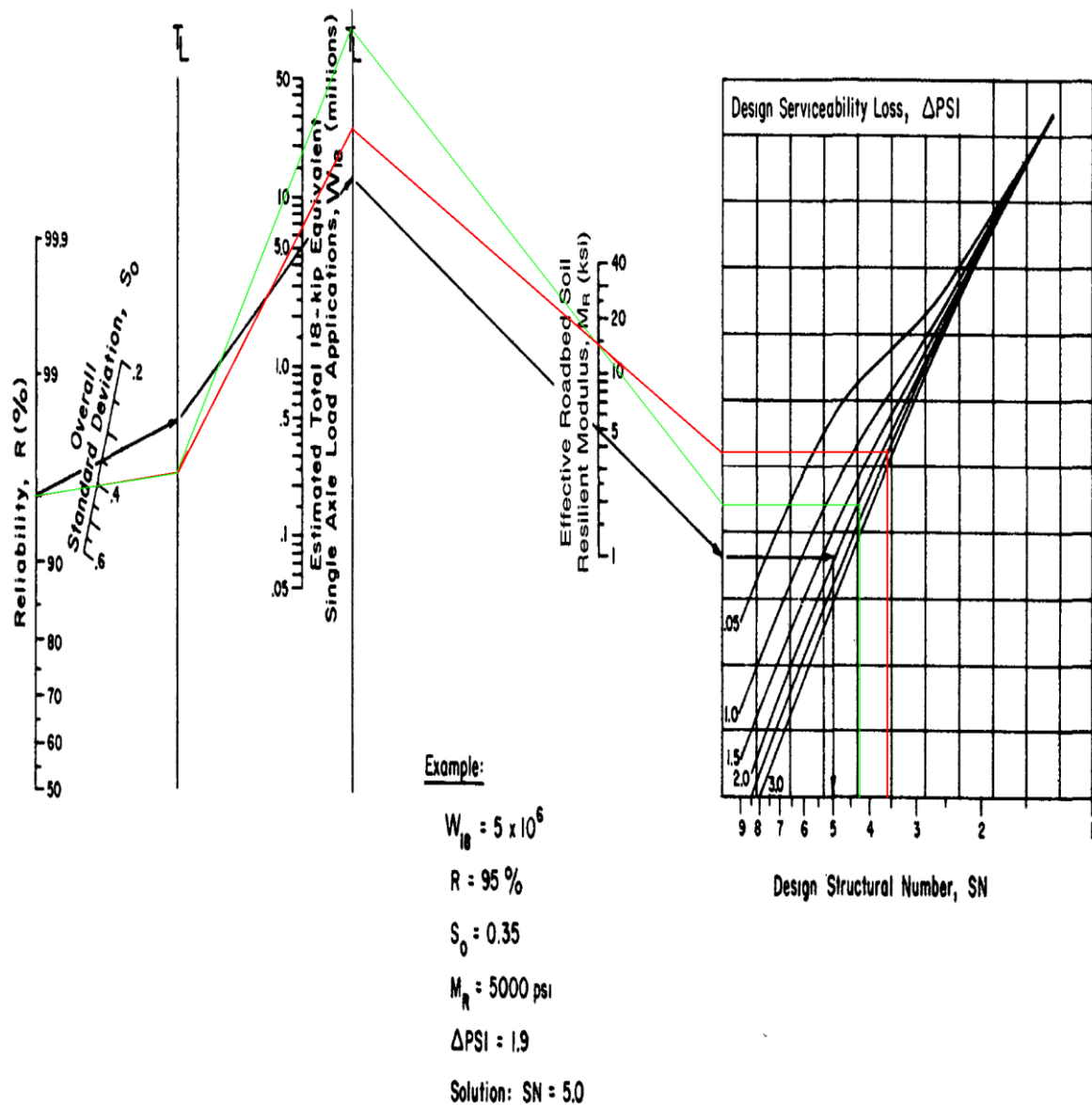


Figure 3.1. Design Chart for Flexible Pavements Based on Using Mean Values for Each Input

Figura 6-1 Uso del Nomograma de Diseño AASHTO93 Para Pavimentos Flexibles para determinar el Número Estructural aplicado al Diseño (AASHTO, 1993)

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: ☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiability (R) y Desviación estándar (So): 95 % $Z_r = -1.645$ So: 0.4

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial: 4.2 PSI final: 2

Módulo resiliente de la subrasante: Mr: 14166 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): Coeficiente de transmisión de carga - (J):

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): Coeficiente de drenaje - (Cd):

Tipo de Análisis: ☒ Calcular SN ☐ Calcular W_{18}

$W_{18} =$ 6100000

Número Estructural: SN = 3.59

Calcular Salir

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: ☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiability (R) y Desviación estándar (So): 95 % $Z_r = -1.645$ So: 0.4

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial: 4.2 PSI final: 2

Módulo resiliente de la subrasante: Mr: 14166 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): Coeficiente de transmisión de carga - (J):

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): Coeficiente de drenaje - (Cd):

Tipo de Análisis: ☒ Calcular SN ☐ Calcular W_{18}

$W_{18} =$ 18600000

Número Estructural: SN = 4.22

Calcular Salir

Figura 6-2 Uso del Programa Cálculo del Número Estructural AASHTO 1993.

Fuente: VARELA, L. R. (2000 de Octubre). Programa Cálculo del Número Estructural AASHTO 1993

El número estructural del pavimento al realizar el cálculo por los dos métodos da valores similares.

SN (10 años) = 3.59

SN (20 años) = 4.22

Determinación de espesores

Se adoptan valores de espesores y los multiplicamos por sus respectivos coeficientes estructurales, el producto de estos se los suma, el resultado es el número estructural del pavimento (SN), la diferencia debe ser menor que 1.

Si la diferencia es mayor a 1, entonces se procede iterativamente hasta lograr que SN (calculado) tenga similitud SN (asumido) optimizando espesores.

La ecuación del Número estructural del Pavimento es:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Donde:

a_1 = Coeficiente Estructural de la Capa de Rodadura

a_2 = Coeficiente Estructural de la Base Estabilizada

a_3 = Coeficiente Estructural de la Sub base

$m_2 = m_3$ = Coeficiente de Drenaje

Determinación de los Coeficientes

Coeficientes Estructurales

La Determinación de los Coeficientes Estructurales se realiza mediante la utilización de nomogramas propuestos por la AASHTO.

- Para la determinación del Coeficiente Estructural de la Capa de Rodadura (a_1) se conoce el Módulo de Elasticidad de la Mezcla que conforma la capa de rodadura, para la aplicación se utilizará un Módulo de Elasticidad de 200000 psi o 1000 lbs de estabilidad Marshall. Se utilizan los siguientes nomogramas

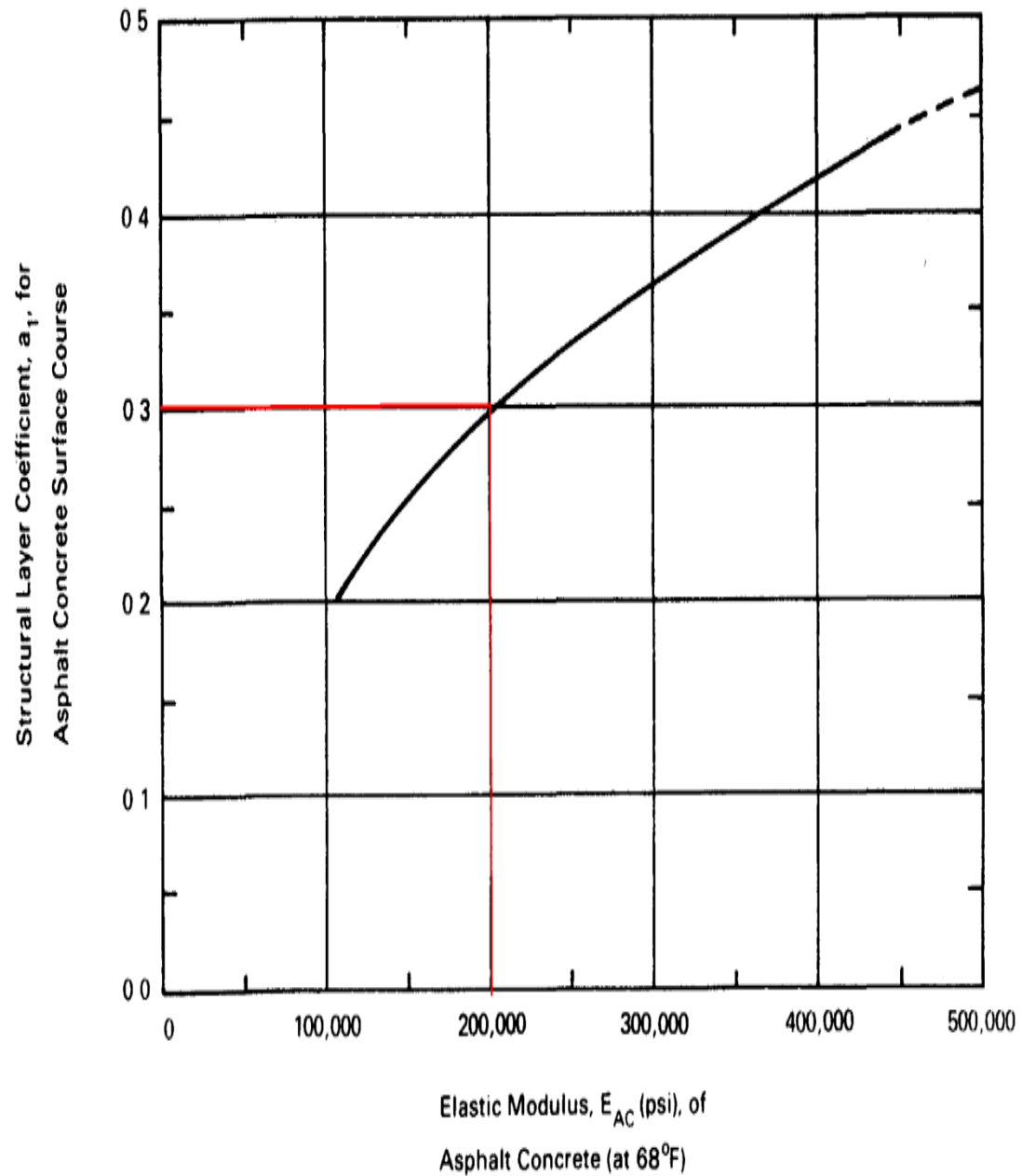
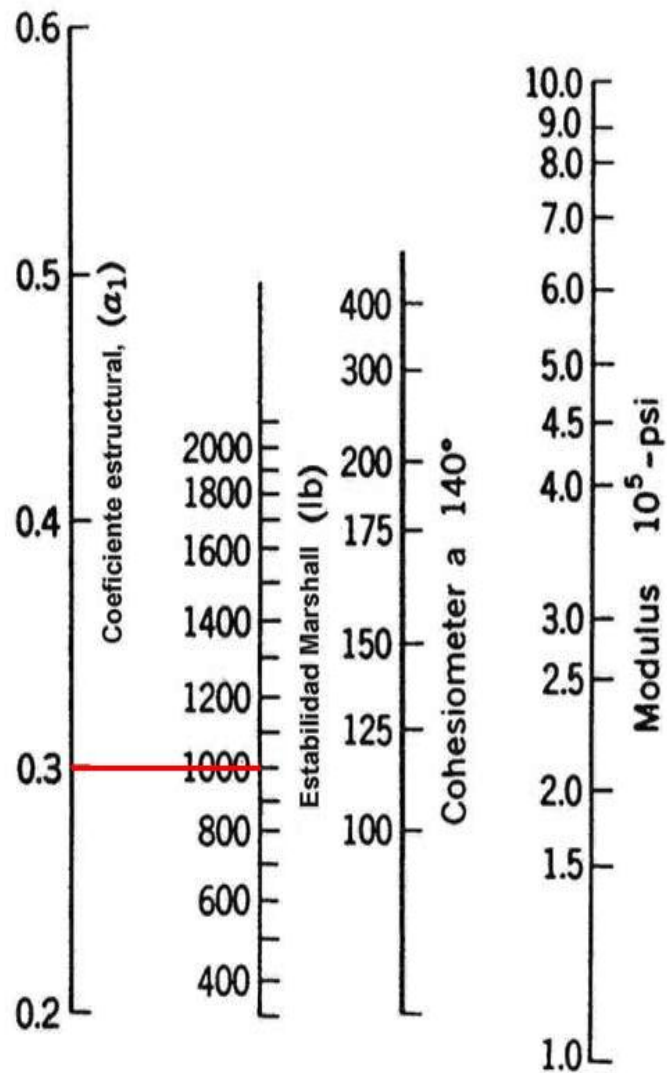


Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (3)

Figura 6-3 Uso del Nomograma de Diseño AASHTO 93 para Pavimentos Flexibles para determinar el Coeficiente Estructural de la Capa de Rodadura en función del Módulo Elástico aplicado al Diseño



Nomograma para estimar el coeficiente estructural a_1 para la carpeta asfáltica.

Figura 6-4 Uso del Nomograma de Diseño AASHTO 93 para Pavimentos Flexibles para determinar el Coeficiente Estructural de la Capa de Rodadura correlaciona Estabilidad Marshall (AASHTO, 1993)

El coeficiente estructural de a_1 es 0.3

- Para la determinación del Coeficiente Estructural de la Capa de Base Estabilizada (a_2) se conoce el valor de Estabilidad Marshall de diseño en libras del material granular estabilizado, para la aplicación se utilizará como valor de 1800 libs.

Se utiliza el siguiente nomograma

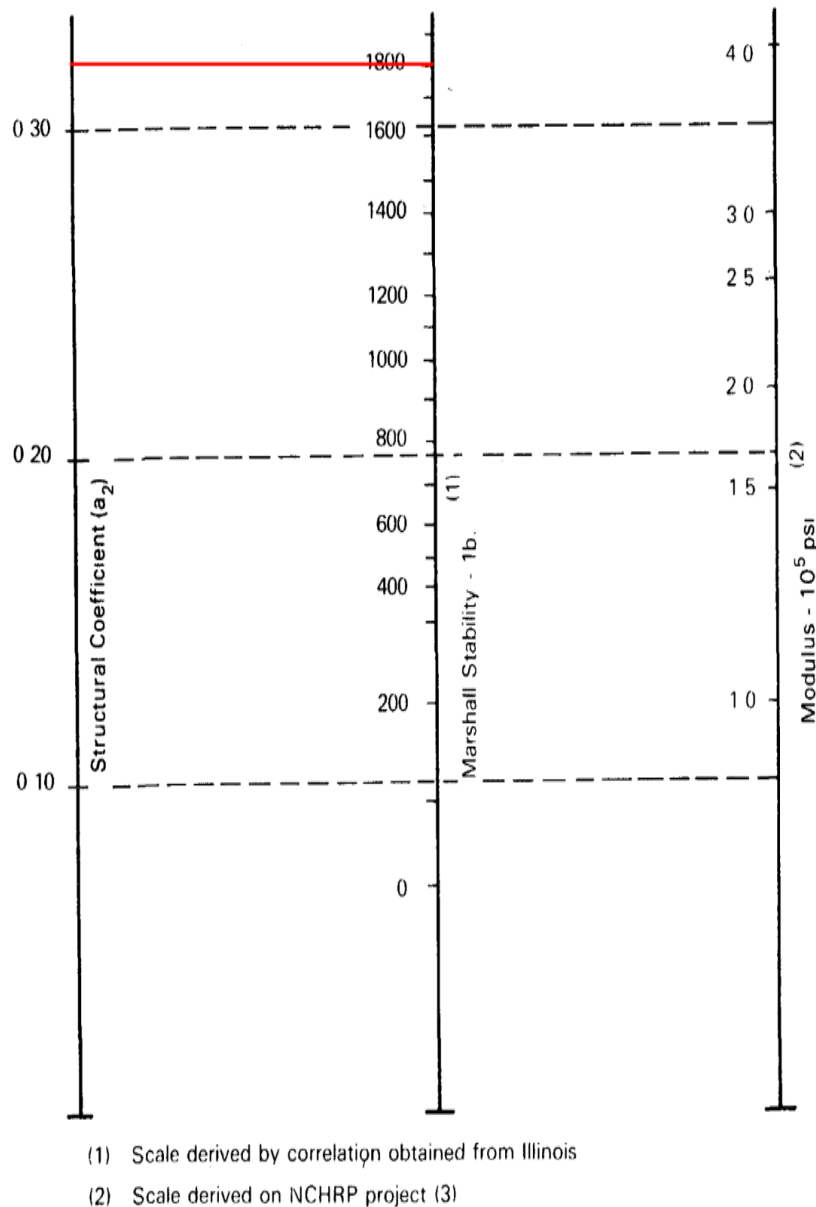


Figure 2.9. Variation in a_2 for Bituminous-Treated Bases with Base Strength Parameter (3)

Figura 6-5 Uso del Nomograma de Diseño AASHTO 93 para Pavimentos Flexibles para determinar el Coeficiente Estructural de la Capa de Base tratada con Asfalto aplicado al Diseño (AASHTO, 1993)

El coeficiente estructural de a_2 es 0.32

- Para la determinación del Coeficiente Estructural de la Capa de Sub base (a_3), se puede determinar de diferentes maneras, en el caso de la aplicación no se utilizará porque la base estabilizada se colocara sobre la subrasante.

Se utiliza el siguiente nomograma

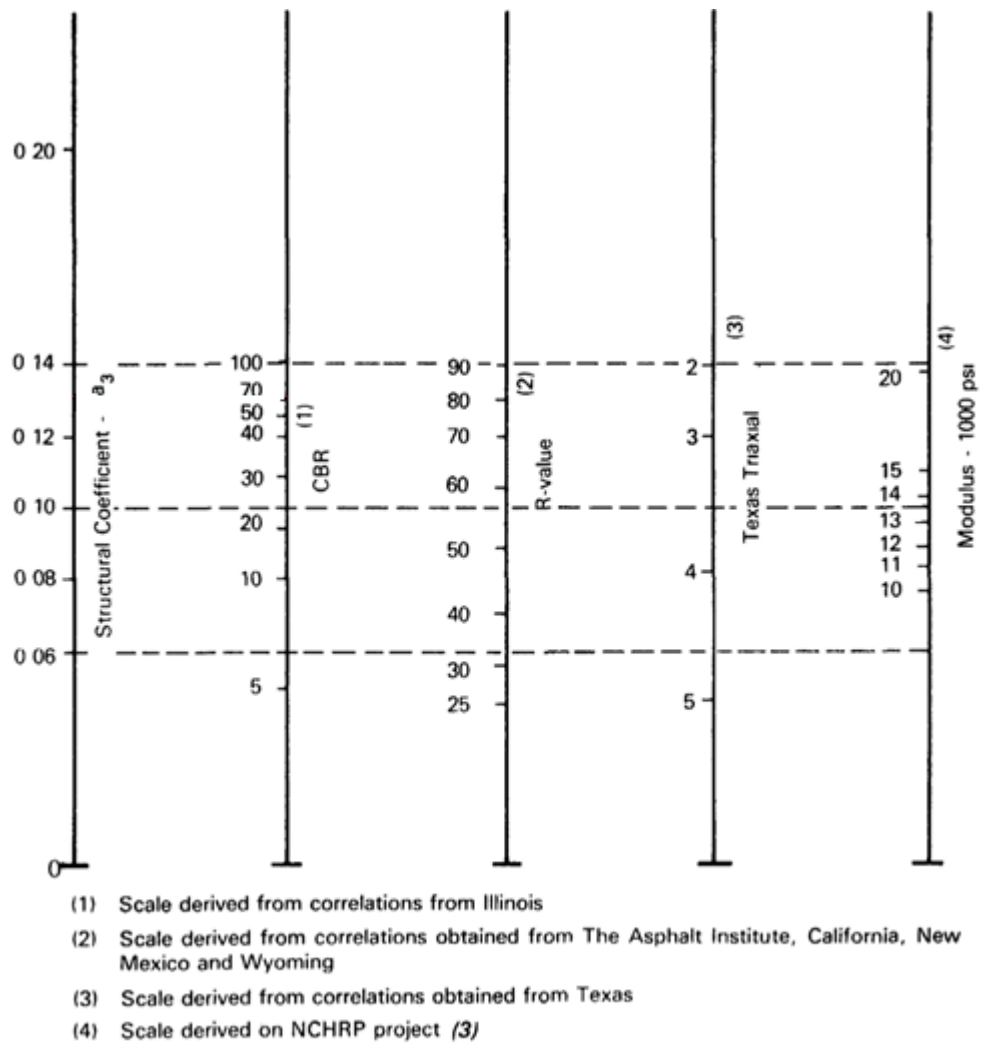


Figure 2.7. Variation in Granular Subbase Layer Coefficient (a_3) with Various Subbase Strength Parameters (3)

Figura 6-6 Uso del Nomograma de Diseño AASHTO 93 para Pavimentos Flexibles para determinar el Coeficiente Estructural de la Capa de Sub base (AASHTO, 1993)

Coeficiente de Drenaje

- Para la determinación del Coeficiente de Drenaje m_2 y m_3 , se utiliza el siguiente tabla

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad cercana a la saturación			
	Menos de 1%	1 – 5%	5 – 25%	Más del 25%
Excelente	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Buena	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Pobre	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Deficiente	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Tabla 6-6 Coeficiente de Drenaje

Fuente: AASHTO, 1993

El Coeficiente de drenaje m_2 es de 1.

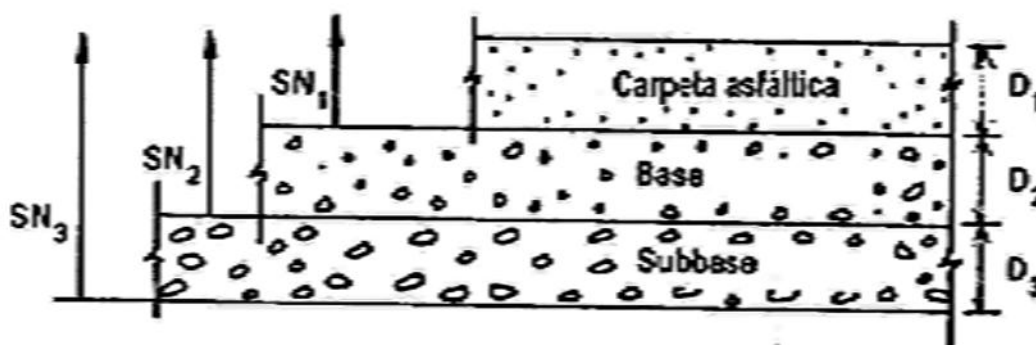


Figura 6-7 Esquema de los Espesores de un Pavimento Flexible con representación de capas, número estructural y espesores (HARRIS, 2007)

El criterio para el diseño con espesores mínimos será el siguiente

Espesores mínimos (in)		
Tráfico, ESAL	Concreto asfáltico, D1	Capa Base, D2
50 000-	1,0 (o tratam. Superficial)	4
50 001 a 150 000	2,0	4
150 001 a 500 000	2,5	4
500 001 a 2 000 000	3,0	6
2 000 001 a 7 000 000	3,5	6
7 000 000+	4,0	6

Tabla 6-7 Espesores mínimos para Diseño de Pavimentos Flexibles

Fuente: HARRIS, J. (2007)

Diseño de Espesores

Espesor de la Capa de Rodadura

$$\begin{aligned} \log W_{18} = Zr \times So + 9.36 \times \log(SN_1 + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \\ \times \log EB - 8.07 \end{aligned}$$

EB=390000 psi = 1800 lib min (estabilidad)

$$SN_1 = 1.22$$

$$D_1^* = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$D_1^* = \frac{1.22}{0.3} = 4.066 \text{ pulgadas} \cong 10.33 \text{ cm (Calculado)}$$

$$D_1^* = 10.5 \text{ cm} = 4.13 \text{ pulgadas (Adoptado)}$$

$$SN_1^* = a_1 D_1^* \geq SN_1$$

$$SN_1^* = 0.3 \times 4.13 \geq 1.22$$

$$SN_1^* = 1.24 \geq 1.22$$

Espesor de la Base Estabilizada

$$\begin{aligned} \log W_{18} = Zr \times So + 9.36 \times \log(SN_2 + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \\ \times \log Mr - 8.07 \end{aligned}$$

Mr=14161 psi (Se colocará sobre la sub rasante)

$$SN_2 = 4.22$$

$$D_2^* = \frac{(SN_2 - SN_1^*)}{(a_2 m_2)}$$

$$D_2^* = \frac{(4.22 - 1.24)}{(0.32 \times 1)}$$

$$D_2^* = \frac{(2.98)}{(0.32 \times 1)}$$

$$D_2^* = 9.31 \text{ pulgadas} = 23.65 \text{ cm (Calculado)}$$

$$D_2^* = 24 \text{ cm} = 9.45 \text{ pulgadas (Adoptado)}$$

$$SN_2^* = 9.45 \times 0.32 \times 1 = 3.024$$

Número Estructural

$$SN = SN_1^* + SN_2^*$$

$$SN = 1.22 + 3.024$$

$$SN = 4.24 \text{ (Aceptado)}$$

Capa de Pavimento	Espesor		Coeficiente Estructural	Coeficiente de Drenaje	Número Estructural
	(pulgadas)	(cm)			
Base Estabilizada con Emulsión; Estabilidad 1800 lib min	9,45	24	0,32	1	3,02
Hormigón Asfáltico 200000 psi / Estabilidad 1000 lib min	4,13	10,5	0,3		1,24
	13,58	34,5			4,26

Tabla 6-8 Espesores Constructivos del Diseño de Pavimento Flexible

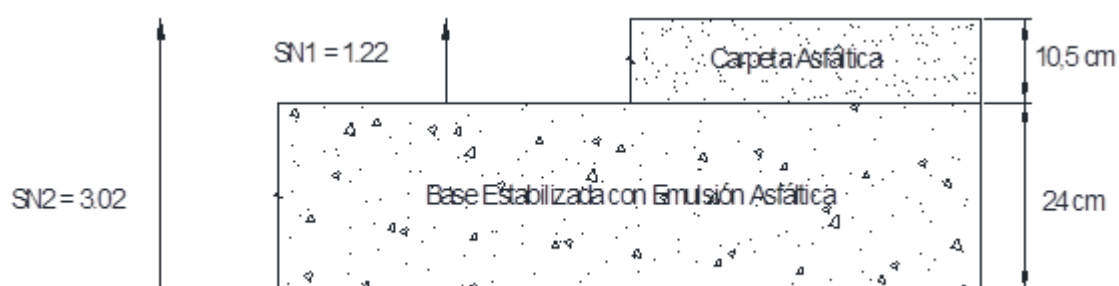


Figura 6-8 Esquema de los Espesores de un Pavimento Flexible, Capas, Número estructural y Espesores Calculados

6.4 RUBROS Y CANTIDADES DE OBRA

La determinación de un presupuesto de una obra civil, busca una estimación de los recursos que se utilizarán.

La estimación de costos es aproximada, específica de la obra y tiempo, sufre cambios en la ejecución y cambios por el mercado.

Para la estimación de un costo se realiza descomponiendo el costo en sus componentes y cada uno de esos componentes cambia en el tiempo

Existe diferencia entre el costo y el precio, el costo está determinado por la fabricación del bien y el precio es el costo más una ganancia.

Todo costo se descompone en costos directos e indirectos

Los costos directos intervienen en la fabricación del bien y son: materiales, herramienta, mano de obra y transporte

Los costos indirectos son causados por la organización, se los asigna de forma indirecta.

La siguiente tabla explica de manera general los componentes del costo

PRECIO	COSTOS TOTALES	COSTOS DIRECTOS	MATERIAL
			MANO DE OBRA
			EQUIPO
			TRANSPORTE
		COSTOS INDIRECTOS	COSTOS POR ADMINISTRACIÓN
			UTILIDADES

Tabla 6-9 Componentes del Precio

Al utilizar la forma de contratación por presupuesto, el presupuesto está dividido en partes que se indica la cantidad a ejecutar y un precio por unidad de medida o unitario.

Las cantidades a ejecutar son valores aproximados de los trabajos que se realizarán y que fácilmente pueden ser comprobados.

Los rubros son las denominaciones que se les da a la agrupación de egresos o gasto (Equipos, Mano de Obra, Materiales y Transporte) que se dan en las actividades que se realiza en un proceso constructivo

Secuencia de Actividades

Para la determinación de los Rubros y cantidades es necesario conocer una secuencia de los trabajos que se va a realizar.

De una manera general se realizarán trabajos de Remoción de la Carpeta Asfáltica deteriorada, luego se procederá a realizar la excavación utilizando maquinaria. Se toma en cuenta para la excavación, la cota de proyecto es la cota actual de pavimento.

Después procedemos a transportar el material existente para que sea tratado y se pueda utilizar en otras obras a una distancia de 6 km.

Llegada la excavación a nivel de la Sub rasante procedemos a trabajar en esta capa humedeciéndola y compactándola, se comprobará la calidad de la capa de sub rasante.

El siguiente procedimiento es el transporte de los materiales desde la cantera ubicada aproximadamente a 18 Km, se realiza en volquetas de 8 m³, de los resultados de laboratorio se determinó que el material más conveniente es de la Mitad del Mundo.

Comprobada la calidad de la capa de sub rasante, se transporta los materiales granulares que conforman la base, además de la emulsión y agua. La mezcla se realiza con el procedimiento explicado en los capítulos anteriores, Primero se combina los agregados con la motoniveladora, el tanquero con agua hidratará la mezcla. Se mezcla con la motoniveladora hasta obtener un color homogéneo, luego se agrega la emulsión puede utilizarse un tanquero, la combinación se mezclará con la motoniveladora hasta observar un color uniforme, se espera hasta que rompa la emulsión y se procede compactar buscando llegar a los espesores de diseño, si no se utiliza un rodillo lo suficientemente fuerte se deberá dividir en capas el espesor. Se deja que se cure la base. Se comprueba la calidad de la base estabilizada con emulsión.

El procedimiento de asfaltado consiste en realizar un riego de imprimación con diferentes materiales asfálticos se utiliza una escoba mecánica y un distribuidor de asfalto, dependiendo del tipo de material será el tiempo de espera para la colocación de la siguiente capa la Carpeta Asfáltica de 4", para esto es necesaria una planta asfáltica que se encargue de la mezcla asfáltica con el diseño adecuado, luego se procede a distribuir homogéneamente la mezcla y se compacta con rodillos hasta conseguir la altura necesaria propuesta.

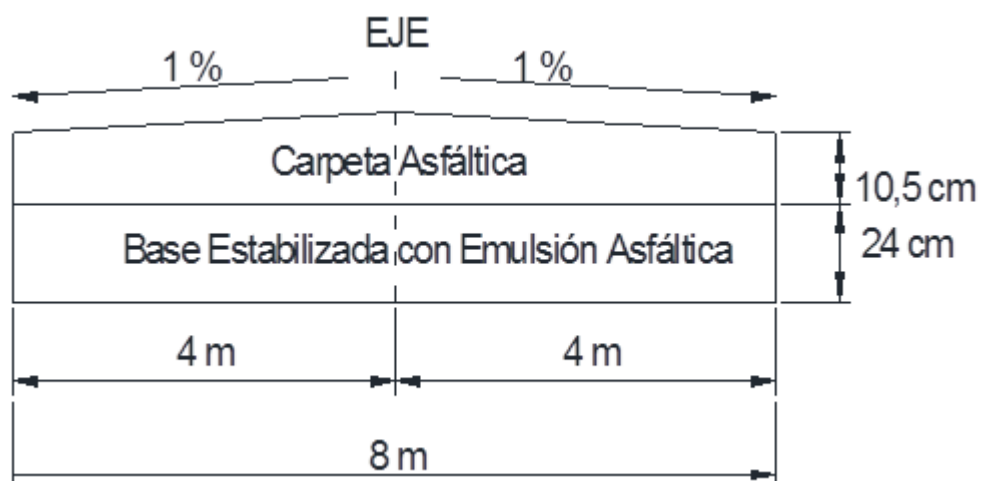


Figura 6-9 Sección Típica para el cálculo de Cantidades

Largo	1000	m
Ancho	8	m
Espesor Máximo	0.345	m
f esponjamiento	1.2	
Área	8000	m ²
Distancia Desalojo	6	Km
Distancia Mina	18	Km
Pavimento		
Base Estabilizada con Emulsión	0.24	m
Carpeta Asfáltica	0.105	m

Tabla 6-10 Datos para el cálculo de cantidades

$$\text{Volúmenes} = \text{Área} \times \text{Espesor de Capa}$$

$$\text{Volúmenes Esponjamiento} = \text{Área} \times \text{Espesor de Capa} \times f \text{ esponjamiento}$$

$$\text{Volúmenes a Transportar} = \text{Volumen} \times \text{Distancia}$$

El proceso constructivo de la Repavimentación de la Calle Nogales se utiliza los siguientes Rubros y cantidades:

RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Rotura de Pavimento Asfáltico	m3	800
2	Excavación mecánica en suelo sin clasificar, 0<H<2 m	m3	1960
3	Desalojo de materiales en volqueta. Incluye esponjamiento	m3/km	19872
4	Transporte de materiales	m3/km	34560
5	Sub rasante, conformación y compactación con equipo pesado	m2	800
6	Base, tendido, conformación, compactación con equipo pesado y material	m3	1920
7	Riego de Liga asfáltica	m2	8000
8	Carpeta asfáltica 04"	m2	8000

Tabla 6-11 Rubros y Cantidades para la Pavimentación de la Calle Nogales L= 1Km

6.5 PRECIOS UNITARIOS

La forma de contratación por presupuesto, el presupuesto está dividido en partes que se indica la cantidad a ejecutar y un precio por unidad de medida o unitario.

Un análisis de precios unitarios descompone el precio de sus componentes, un ejemplo de presentación se tiene en la siguiente planilla que será utilizada

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:

UNIDAD:

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
SUBTOTAL M					
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
SUBTOTAL N					
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	$C=A*B$	
SUBTOTAL O					
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	$C=A*B$	
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					
INDIRECTOS Y UTILIDADES %					
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					
VALOR OFERTADO					

Figura 6-10 Planilla General empleada para el Análisis de Precios Unitarios de un Rubro

En la planilla se puede ver el nombre del rubro y la unidad.

Después se describe la distribución del costo directo en sus componentes.

- Equipo & Herramienta
- Materiales
- Transporte

- Mano de Obra

En la parte inferior se resume el total del costo directo y el costo indirecto más la utilidad.

El costo indirecto se determinó de la siguiente manera:

- | | |
|--|----|
| • Gastos Generales: | 5% |
| • Imprevisto: | 5% |
| • Gastos de Financiamiento y Contratación: | 5% |
| • Otros Gastos: | 5% |

La utilidad se determinó en:

- | | |
|---------------|-----|
| • Utilidades: | 10% |
|---------------|-----|

Para el análisis se tomó en cuenta a la publicación de la Cámara de Construcción (CAMARA DE LA CONSTRUCCION DE QUITO, 2012) y al Software de INTERPRO (INTERPRO, 2010)

El análisis de precios unitarios por rubros se muestra en las siguientes planillas:

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 1

UNIDAD: m3

DETALLE: Rotura de Pavimento Asfáltico

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor	10	0,019	0,19	1	0,19
SUBTOTAL M					0,19
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón	1	2,56	2,56	0,07	0,18
Ayudante de Albañil	1	2,56	2,56	0,07	0,18
SUBTOTAL N					0,36
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
SUBTOTAL O					0,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P					0,00
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			0,55
		INDIRECTOS Y UTILIDADES %			0,14
		OTROS INDIRECTOS %			0,03
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			0,71
		VALOR OFERTADO			0,71

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 2 UNIDAD: m3
DETALLE: Excavación mecánica en suelo sin clasificar, 0<H<2 m

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta manual y menor de construcción	5	0,025	0,125	1	0,13
Retrocargadora de llantas	1	0,019	22	0,09	1,98
SUBTOTAL M					2,11
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Maestro de obra	1	2,56	2,56	0,009	0,02
Op.Gr.1 - Excavadora	1	2,71	2,71	0,09	0,24
Ayudante de maquinaria (Estr.Oc.C3)	1	2,56	2,56	0,09	0,23
SUBTOTAL N					0,50
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
SUBTOTAL O					0,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P					0,00
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			2,60
		INDIRECTOS Y UTILIDADES %			0,65
		OTROS INDIRECTOS %			0,13
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			3,38
		VALOR OFERTADO			3,38

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:

3

UNIDAD: m3/km

DETALLE:

Desalojo de materiales en volqueta.
Incluye esponjamiento

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL M					0,00
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Ayudante de Albañil	1	2,56	2,56	0,02	0,05
Maestro de obra	1	2,56	2,56	0,02	0,05
SUBTOTAL N					0,10
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
SUBTOTAL O					0,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
Transporte de materiales en volqueta	m3/km	1,3	0,25		0,33
SUBTOTAL P					0,33
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					0,43
INDIRECTOS Y UTILIDADES %					0,11
OTROS INDIRECTOS %					0,02
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0,56
VALOR OFERTADO					0,56

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 4

UNIDAD: m3/km

DETALLE: Transporte de materiales

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Volqueta 8 m3	1	40	40	0,006	0,24
SUBTOTAL M					0,24
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Chofer profesional licencia tipo D (Estr. Oc. D1)	1	3,69	3,69	0,006	0,02
SUBTOTAL N					0,02
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
SUBTOTAL O					0,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P					0,00
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			0,26
		INDIRECTOS Y UTILIDADES %			0,07
		OTROS INDIRECTOS %			0,01
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			0,34
		VALOR OFERTADO			0,34

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:

5

UNIDAD: m2

DETALLE:

Sub rasante, conformación y compactación con equipo pesado

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Motoniveladora	1	40	40	0,008	0,32
Rodillo Neumático	1	30	30	0,008	0,24
Tanquero de agua	1	18	18	0,008	0,14
SUBTOTAL M					0,70
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Ayudante de Albañil	1	2,56	2,56	0,008	0,02
Maestro de obra	1	2,56	2,56	0,0008	0,00
Op.Gr.1 - Motoniveladora	1	2,71	2,71	0,008	0,02
Op.Gr.2 - Rodillo Autopropulsado	1	2,66	2,66	0,008	0,02
Ayudante de maquinaria (Estr.Oc.C3)	1	2,56	2,56	0,008	0,02
Chofer profesional licencia tipo E, transporte de pasajeros clase B y C según el caso (Estr.Op.C2)	1	3,78	3,78	0,008	0,03
SUBTOTAL N					0,12
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
SUBTOTAL O				0,00	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P				0,00	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					0,82
INDIRECTOS Y UTILIDADES %					0,21
OTROS INDIRECTOS %					0,04
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,07
VALOR OFERTADO					1,07

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 6 UNIDAD: m3

DETALLE: Base Estabilizada con emulsión Asfáltica, tendido, conformación, compactación con equipo pesado y material

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Motoniveladora	1	40	40	0,015	0,60
Rodillo Vibratorio	1	30	35	0,015	0,53
Rodillo Neumático	1	30	30	0,015	0,45
Tanquero	2	18	18	0,015	0,27
SUBTOTAL M					1,85
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Ayudante de Albañil	4	2,56	10,24	0,015	0,15
Maestro de obra	1	2,56	2,56	0,015	0,04
Op.Gr.1 - Motoniveladora	1	2,71	2,71	0,015	0,04
Op.Gr.2 - Rodillo Autopropulsado	2	2,66	5,32	0,015	0,08
Ayudante de maquinaria (Estr.Oc.C3)	3	2,56	7,68	0,015	0,12
Chofer profesional licencia tipo E, transporte de pasajeros clase B y C según el caso (Estr.Op.C2)	1	3,78	3,78	0,0015	0,01
SUBTOTAL N					0,43
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Agua en obra (Incluye instalaciones provisionales)	litro	87	0,001	0,09	
Base	m3	1,4	1,92	2,69	
Emulsión Asfáltica Css - 1h	litro	101	0,34	34,34	
SUBTOTAL O				37,12	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P				0,00	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					39,39
INDIRECTOS Y UTILIDADES %					9,85
OTROS INDIRECTOS %					1,97
COSTO TOTAL DEL RUBRO					51,21
VALOR OFERTADO					51,21

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:

7

UNIDAD: m2

DETALLE:

Riego de Liga asfáltica

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Distribuidor De Asfalto	1	30	30	0,008	0,24
Escoba Mecánica	1	12	12	0,008	0,10
SUBTOTAL M					0,34
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón	4	2,56	10,24	0,008	0,08
Op.Gr.1 - Retroexcavadora	2	2,71	5,42	0,008	0,04
SUBTOTAL N					0,13
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
Asfalto		Gal	0,0042	1,55	0,01
Diesel		Gal	0,012	1,04	0,01
SUBTOTAL O					0,02
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P					0,00
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			0,48
		INDIRECTOS Y UTILIDADES %			0,12
		OTROS INDIRECTOS %			0,02
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			0,62
		VALOR OFERTADO			0,62

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 8

UNIDAD: m2

DETALLE: Carpeta asfáltica 04"

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Distribuidor de Asfalto	1	30	30	0,015	0,45
Cargadora	1	40	40	0,015	0,60
Planta Asfáltica	1	120	120	0,015	1,80
Rodillo Compactador	1	25	25	0,015	0,38
Rodillo Vibratorio	1	35	35	0,015	0,53
SUBTOTAL M					3,75
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón	4	2,56	10,24	0,015	0,15
Ayudante de Albañil	4	2,56	10,24	0,015	0,15
Op.Gr.1 - Retroexcavadora	4	2,71	10,84	0,015	0,16
Op.Gr.1 - Cargadora Frontal	1	2,71	2,71	0,015	0,04
SUBTOTAL N					0,51
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Material Fino Cribado	m3	0,1	11,3	1,13	
Material Granular	m3	0,15	11,3	1,70	
Asfalto Ap-3 Rc-350	Kg	5	0,19	0,95	
SUBTOTAL O					3,78
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P				0,00	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					8,04
INDIRECTOS Y UTILIDADES %					2,01
OTROS INDIRECTOS %					0,40
COSTO TOTAL DEL RUBRO					10,45
VALOR OFERTADO					10,45

Análisis del Costo de una Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica para m3 .

Para el manejo de los costos de la estabilización los materiales granulares estudiados se considerará que esta base estabilizada con emulsión. Se llevará a cabo en Quito un lugar templado, con temperaturas entre 15°C y 25°C, con una precipitación pluvial alta en época de invierno.

En base a los resultados anteriores los agregados de la Mina Rosita fueron estabilizados con un menor contenido de emulsión Asfáltica, por este motivo es más conveniente la realización de costos con estos agregados.

Se ha explicado con anterioridad, la base está formada por la combinación adecuada de materiales de la forma que se comercializan en nuestro medio: “ripio y arena”.

Este material se estabiliza con la adición emulsión asfáltica catiónica CSS -1h (Proveedor Chova), al costo de los materiales se le agregará el costo por realizar el procedimiento de estabilización en obra, la suma de todos estos costos es el costo final de producción.

DATOS BÁSICOS

Peso Unitario Suelto		
Agregado Grueso	1347	Kg/m3
Agregado Fino	1635	Kg/m3
Base (65 % Grueso + 35 % Fino)	1436	Kg/m3
$\frac{100\%}{\frac{65\%}{1347} + \frac{35\%}{1635}}$		
Peso Unitario Compactado		
Agregado Grueso	1442	Kg/m3
Agregado Fino	1740	Kg/m3
Base (65 % Grueso + 35 % Fino)	1535	Kg/m3
$\frac{100\%}{\frac{65\%}{1442} + \frac{35\%}{1740}}$		
Contenido Emulsión	Óptimo	de 6.9 %
Agua Faltante (Pre-Mezcla)	6	%
Compactación	95	%

- Cálculo de Emulsión por m3 compacto de Base Estabilizada

Emulsión en Agregado Suelto

$$Emulsión = 1436 \frac{Kg}{m^3} \times 6.9 \% Emulsión = 99 \text{ Litros de Emulsión} / m^3 \text{ Suelto}$$

Emulsión en Agregado Compactado

$$Emulsión = \frac{1535 \frac{Kg}{m^3} \times 0.95 \% Compactación \times 99 \text{ Litros de Emulsión} / m^3 \text{ Suelto}}{1436 \frac{Kg}{m^3}}$$
$$= 101 \text{ Litros de Emulsión} / m^3 \text{ Compactado}$$

- Cálculo de Agua Faltante (Pre-Mezcla) por m3 compacto de Base Estabilizada

Agua Faltante en Agregado Suelto

$$Agua Faltante = 1436 \frac{Kg}{m^3} \times 6 \% Agua = 86 \text{ Litros de Agua} / m^3 \text{ Suelto}$$

Agua Faltante en Agregado Compactado

$$Agua Faltante = \frac{1535 \frac{Kg}{m^3} \times 0.95 \% Compactación \times 86 \text{ Litros de Agua} / m^3 \text{ Suelto}}{1436 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$Agua Faltante (Pre - mezcla) = 87 \text{ Litros de Agua} / m^3 \text{ Compactado}$$

Costos

Costo de Ripio = 1.25 \$ m3 y Costo de polvo de piedra Azúl = 2.80 \$

Costo de Ripio = 1.25 \$ m3 \times 0.65 = 0.81 \$

Costo de polvo de piedra Azúl = 3.13 \$ \times 0.35 = 1.10 \$

Costo de La Base (m3) = 0.82 \$ + 1.10 \$ = 1.92 \$

Costo de La emulsión (lt) = 0.34 \$

Costo del Agua(lt) = 0.001 \$

Este valor se aplicó al rubro: Base, tendido, conformación, compactación con equipo pesado y material que dio como resultado 51,21\$

A este valor se le agregará el costo por transportación de agregados desde la mina. Se toma el valor del rubro: Transporte de materiales que dio como resultado 0.34\$ por m3/km

Costo transporte de 1 m3 a 18 Km = $0.34\$ \times 18 = 6.12\$$

Suma de Costo de Base, tendido, conformación, compactación con equipo pesado y Transporte = $51.21 \$ + 6.124 \$ = 57.33 \$ / m3$

6.6 PRESUPUESTO GENERAL DEL DISEÑO

El Presupuesto General del Diseño es el resultado de multiplicar las cantidades de ejecución por el costo obtenido en el análisis de precios unitarios. Para la repavimentación de la Calle Nogales es el siguiente:

RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Rotura de Pavimento Asfáltico	m3	800	0,71	570,34
2	Excavación mecánica en suelo sin clasificar, 0<H<2 m	m3	1960	3,38	6630,76
3	Desalojo de materiales en volqueta. Incluye esponjamiento	m3/km	19872	0,56	11041,28
4	Transporte de materiales	m3/km	34560	0,34	11777,43
5	Sub rasante, conformación y compactación con equipo pesado	m2	800	1,07	853,02
6	Base, tendido, conformación, compactación con equipo pesado y material	m3	1920	51,21	98325,73
7	Riego de Liga asfáltica	m2	8000	0,62	4994,81
8	Carpeta asfáltica 04"	m2	8000	10,45	83568,68
				TOTAL	217762,04
				IVA 12%	26131,44
				TOTAL + IVA 12%	243893,48

Tabla 6-12 Presupuesto de la Repavimentación de la Calle Nogales L=1Km

6.7 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS (MOP-001-F-2002)

Se resume de manera general las especificaciones utilizadas en el este proyecto; estas especificaciones se las tomó del documento Especificaciones Generales para la construcción de Caminos y puentes. (MOP-001-F-2002, 2002) .

6.7.1 EXCAVACIÓN PARA LA PLATAFORMA DEL CAMINO

Descripción.- Este trabajo consistirá en la excavación y disposición, en forma aceptable al Fiscalizador, de todo el material cuya remoción sea necesaria para formar la obra básica del camino y cuya medición y pago no estén previstos por otros rubros del contrato.

Excavación sin Clasificación.- Es la excavación y desalojo que se realiza de todos los materiales que se encuentran durante el trabajo, en cualquier tipo de terreno y en cualquier condición de trabajo, es decir inclusive excavaciones en fango, suelo, marginal y roca.

Medición.- Las cantidades a pagarse por la excavación de la plataforma del camino serán los volúmenes medidos en su posición original, de la excavación efectivamente ejecutada y aceptada, de acuerdo con los planos y las instrucciones del Fiscalizador.

Pago.- Los precios y pago constituirán la compensación total por la excavación y disposición del material, incluyendo su transporte, colocación, esparcimiento, conformación, humedecimiento o secamiento y compactación, o su desecho, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas, necesarios para la ejecución de los trabajos.

Nº del Rubro de Pago y Designación Unidad de Medición

* Excavación sin clasificación Metro cúbico (m3)

6.7.2 TRANSPORTE

Descripción.- Este trabajo consistirá en el transporte autorizado de los materiales necesarios para la construcción de la plataforma del camino, préstamo importado, mejoramiento de la Sub rasante con suelo seleccionado, material pétreo, capa de rodadura, construcción de sub base de agregados, base de agregados, y agregados para doble tratamiento bituminoso, para los cuales está previsto el pago de transporte en los formularios de propuestas.

Medición.-

Las cantidades de transporte apagarase serán los metros cúbicos por kilómetro o fracción de kilómetro. Medidos y aceptados, calculados como el resultado de multiplicarlos metros cúbicos de material efectivamente transportado por la distancia en kilómetros de transporte de dicho volumen. Los volúmenes para el cálculo de transporte de materiales de préstamo importado, el mejoramiento de la Sub rasante con el suelo seleccionado, la estabilización con material pétreo, serán los mismos

volúmenes establecidos para su pago en conformidad con su rubro correspondiente, metro cúbico por kilómetro o fracción kilómetro.

Pago.- Constituirá la compensación total por el transporte de los materiales, incluyendo la mano de obra, equipo, herramientas y operaciones conexas necesarias para ejecutar los trabajos descritos.

6.7.3 BASE DE HORMIGÓN ASFÁLTICO MEZCLADO EN SITIO.

Descripción.- Este trabajo consistirá en la construcción de capas de base de hormigón asfáltico mezclado en el camino, colocadas sobre una superficie previamente preparada, aceptada y de conformidad con los alineamientos, pendientes y sección transversal establecidas en los planos contractuales.

Materiales.- El tipo y grado del material asfáltico que se emplee en la mezcla para base, estará determinado en el contrato.

El tipo de material bituminoso que se utilizará generalmente para este trabajo será asfalto diluido, a menos que en el contrato se especifique un tipo diferente.

Ensayos y Tolerancias.- La calidad del material asfáltico y los agregados deberán cumplir con los requisitos indicados. La mezcla asfáltica debe satisfacer los requisitos recogidos en la tabla a 25° C.

ESTABILIDAD	FLUJO
MARSHALL	(1/100")
750 lbs. min.	5-18

Procedimientos de trabajo.

Fórmula Maestra de Obra

La fórmula maestra establecerá:

- 1) Las cantidades de las diversas fracciones definidas para los agregados, y
- 2) El porcentaje de material asfáltico para la dosificación, en relación con la cantidad de agregados.

Mezclado y Esparcimiento.- Los agregados escogidos deberán distribuirse en capas de las diversas fracciones de grueso a fino, en las cantidades necesarias para formar el ancho y espesor especificado, y en las proporciones determinadas por la fórmula maestra. Antes de añadir el asfalto, las fracciones serán mezcladas cuidadosamente por medio de una mezcladora móvil o de motoniveladoras, hasta obtener una mezcla uniforme que cumpla con la granulometría estipulada. El mezclado con el asfalto no deberá retardarse más de un día después del mezclado en seco de los agregados.

Para proceder al mezclado con el material bituminoso utilizando motoniveladoras, se dividirá la cantidad de agregados en mitades, cada una de las cuales se procesará separadamente.

Si se efectúa el mezclado con máquina mezcladora móvil en vez de las motoniveladoras, se conformará la mezcla de agregados en camellones de forma y tamaño uniformes, y se irá añadiendo el material bituminoso mientras se continúa el trabajo con la mezcladora, hasta obtener una mezcla uniforme que cumpla con los requisitos de la fórmula maestra.

La mezcla de hormigón asfáltico obtenido con cualquiera de los dos procesos, se esparcirá y conformará con motoniveladoras para que luego de compactada, la capa de rodadura tenga el ancho, espesor, alineamiento y perfil transversal señalados en los planos. Si el hormigón presenta deficiencias en la distribución de los materiales, la mezcla deberá ser corregida con adición de agregados, asfalto o mezclado adicional según el caso, antes de iniciar la compactación.

La temperatura de aplicación del material bituminoso dependerá del tipo y grado.

El Fiscalizador determinará el espesor para la distribución de la mezcla, a fin de lograr el espesor compactado especificado. De todos modos, el máximo espesor de una capa será aquel que consiga un espesor compactado de 7 cm.

Compactación.- Una vez efectuada la distribución de la capa de hormigón asfáltico, se procederá a su compactación por medio de rodillos lisos de ruedas de acero y neumáticos.

Medición.- Las cantidades a pagarse por la construcción de la base de hormigón asfáltico mezclado en sitio serán el número de metros cúbicos de la mezcla, efectivamente puesta en obra y aceptada, medida en su lugar después de la compactación, más el número de litros o toneladas de material bituminoso realmente incorporados a la mezcla de acuerdo con los requerimientos contractuales.

Pago

Los precios y pago constituirán la compensación total por el suministro y transporte del material bituminoso, la preparación y suministro de los agregados, la mezcla en sitio del hormigón asfáltico para la base, la distribución, conformación y compactación de la mezcla, la limpieza de la superficie que recibirá el hormigón asfáltico; así como por mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas, necesarias para el completamiento de los trabajos descritos en esta sección.

Nº del Rubro de Pago y Designación Unidad de Medición

Capa de base de hormigón asfáltico mezclado en sitio.....Metro cúbico (m³)

Asfalto tipo....., grado....., para base asfáltica.....Litro (l)

6.7.4 ASFALTO PARA RIEGO DE ADHERENCIA

Descripción.-

Este trabajo consistirá en el suministro y distribución de material bituminoso sobre la superficie de un pavimento, a fin de conseguir adherencia entre este pavimento y una nueva capa asfáltica que se deberá colocar sobre él, de acuerdo con los requerimientos establecidos en los documentos contractuales.

Materiales.-

El material bituminoso estará constituido por asfalto diluido o por emulsión asfáltica, cuyo tipo estará fijado en las disposiciones especiales del contrato.

Equipo.-

El Contratista deberá disponer del equipo necesario para la ejecución de este trabajo, el cual deberá ser aprobado por el Fiscalizador.

El equipo mínimo deberá constar de una barredora mecánica, un soplador incorporado aparte y un distribuidor de asfalto a presión autopropulsado.

Procedimientos de trabajo.-

Antes de procederse a la aplicación del riego bituminoso, se comprobará que la superficie se halle totalmente seca, deberá ser barrida, limpiada cuidadosamente para eliminar todo material extraño y trazas de polvo.

El material asfáltico será distribuido uniformemente sobre la superficie lista. La cantidad de aplicación será bastante reducida y dependerá del estado de la superficie a tratar.

Si se tratase de efectuar el riego de adherencia en zonas de superficies reducidas o irregulares, la aplicación del material bituminoso podrá realizarse empleando el rociador manual a presión del distribuidor.

El Contratista deberá cuidar que no se manche con la distribución asfáltica las obras de arte, bordillos, aceras o árboles adyacentes, todo lo cual deberá ser protegido en los casos necesarios antes de proceder al riego. En ningún caso deberá descargarse el material bituminoso sobrante en canales, ríos o acequias.

Medición.-

Las cantidades a pagarse por el riego de adherencia serán los litros de materiales asfálticos realmente distribuidos y aceptados por el Fiscalizador.

Pago.-

Los precios y pago constituirán la compensación total por la limpieza de la superficie por tratarse, el suministro, transporte, calentamiento y distribución del material asfáltico; así como por mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas en el completamiento de los trabajos descritos.

6.7.5 HORMIGÓN ASFÁLTICO MEZCLADO EN SITIO.**Descripción.-**

Este trabajo consistirá en la construcción de capas de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en sitio y colocado sobre una base debidamente preparada o un pavimento existente, de acuerdo con los requerimientos de los documentos contractuales.

Materiales.-

El tipo y grado de material asfáltico que deba emplearse en la mezcla en sitio, estará determinado en el contrato.

Equipo.-

Como mínimo, el equipo estará conformado por un distribuidor de asfalto autopropulsado; equipo calentador de asfalto portátil adicional si es necesario; barredora mecánica, esparcidor de agregados, motoniveladoras, una mezcladora móvil si es del caso, rodillos lisos tandem de 8 a 10 toneladas, rodillos neumáticos que trabajarán con la carga por rueda y presión de inflado apropiados para el espesor de la capa de rodadura, equipo para el transporte de agregados.

Ensayos y Tolerancias.-

Los agregados deberán cumplir los requisitos de calidad. La granulometría será comprobada mediante los ensayos INEN 696, que se efectuarán sobre muestras tomadas en sitio de los agregados debidamente mezclados antes de añadir el asfalto.

La calidad del material asfáltico será comprobada mediante las normas indicadas, para los asfaltos diluidos, y para emulsiones asfálticas según el tipo y grado de material bituminoso que se use.

El hormigón asfáltico mezclado en sitio deberá cumplir con la fórmula maestra de obra, dentro de las siguientes tolerancias:

- a) Peso de los agregados secos que pasen el tamiz N° 4 y tamices mayores: $\pm 5\%$.
- b) Peso de los agregados secos que pasen los tamices N° 8 hasta el N° 100: $\pm 4\%$.

c) Peso de los agregados secos que pasen el tamiz N° 200: $\pm 2\%$.

d) Dosificación del material asfáltico: $\pm 0.5\%$.

El espesor de la capa de hormigón asfáltico terminada en sitio no deberá variar en más de 5 mm.

Terminada la compactación de la capa de hormigón asfáltico mezclado en sitio, el Fiscalizador deberá comprobar los espesores, la densidad de la mezcla y su composición, a intervalos de 300 a 500 metros lineales, en sitios elegidos al azar, a los lados del eje del camino.

Procedimientos de trabajo.

Fórmula Maestra de Obra.- Antes de iniciarse la mezcla del hormigón asfáltico en sitio, el contratista analizará los materiales que se propone utilizar, y diseñará la Fórmula Maestra de Obra, la cual deberá someter a la aprobación del Fiscalizador.

La fórmula maestra establecerá:

- 1) Las cantidades de las diversas fracciones definidas para los agregados, y
- 2) El porcentaje de material asfáltico para la dosificación, en relación con la cantidad de agregados.

Mezclado y Esparcimiento.-

Los agregados escogidos deberán distribuirse en capas de las diversas fracciones de grueso a fino, en las cantidades necesarias para formar la carpeta del ancho y espesor especificado, y en las proporciones determinadas por la fórmula maestra. El mezclado con el asfalto no deberá retardarse más de un día después del mezclado en seco de los agregados.

Si se efectúa el mezclado con máquina mezcladora móvil en vez de las motoniveladoras, se conformará la mezcla de agregados en camellones de forma y tamaño uniformes, y se irá añadiendo el material bituminoso mientras se continúa el trabajo con la mezcladora, hasta obtener una mezcla uniforme que cumpla con los requisitos de la fórmula maestra.

La mezcla de hormigón asfáltico obtenido con cualquiera de los dos procesos, se esparcirá y conformará con motoniveladoras para que luego de compactada, la capa de rodadura tenga el ancho, espesor, alineamiento y perfil transversal señalados en los planos. Si el hormigón presenta deficiencias en la distribución de los materiales, la mezcla deberá ser corregida con adición de agregados, asfalto o mezclado adicional según el caso, antes de iniciar la compactación.

De no ser posible, se utilizarán aditivos para mejorar la adhesión del asfalto a los agregados, o se emplearán emulsiones asfálticas en vez de asfaltos diluidos.

La temperatura de aplicación del material bituminoso dependerá del tipo y grado, y estará de acuerdo con lo estipulado para el caso de usar asfaltos diluidos y para el caso de usar emulsiones.

El Fiscalizador determinará el espesor para la distribución de la mezcla, a fin de lograr el espesor compactado especificado. De todos modos, el máximo espesor de una capa será aquel que consiga un espesor compactado de 7 cm.

Compactación.-

Se procederá a su compactación por medio de rodillos lisos de ruedas de acero y neumáticos.

A continuación del rodillado inicial se proseguirá con la compactación, empleando rodillos neumáticos, hasta conseguir la densidad especificada.

En los lugares inaccesibles a los rodillos, se deberá efectuar la compactación de la mezcla con pisones mecánicos, hasta obtener la densidad especificada.

La capa de hormigón asfáltico compactada deberá presentar una textura lisa y uniforme, sin fisuras ni rugosidades, y estará construida de conformidad con los alineamientos, espesores, cotas y perfiles estipulados en el contrato.

Sellado.-

Si los documentos contractuales estipulan la colocación de una capa de sello sobre la carpeta terminada, ésta se colocará de acuerdo con los requerimientos correspondientes.

Medición.-

Las cantidades a pagarse por la construcción de las carpetas de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en sitio, serán los metros cúbicos de mezcla efectivamente puesta en obra y aceptada, medida en su lugar después de la compactación, más el número de litros de material bituminoso realmente incorporados a la mezcla, de acuerdo con los requerimientos contractuales.

La medición podrá también ser efectuada en metros cuadrados de superficie cubierta con un espesor de hormigón asfáltico compactado determinado.

En todo caso, la forma de pago estará determinada en el contrato, sea en metros cúbicos de mezcla compactada más el material bituminoso, o sea en metros cuadrados de carpeta compactada al espesor requerido.

Pago.-

Estos precios y pago constituirán la compensación total por el transporte y suministro de los agregados y el asfalto, la preparación y mezclado en sitio del hormigón asfáltico; la distribución, terminado y compactación de la mezcla; la limpieza de la superficie que recibirá el hormigón asfáltico; así como por mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas en el completamiento de los trabajos descritos en esta sección.

Nº del Rubro de Pago y Designación Unidad de Medición

Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en sitio de....cm. de espesor.....Metro cuadrado (m2)

Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en sitio.....Metro cúbico (m3)

Asfalto diluido grado....para hormigón asfáltico mezclado en sitio.....Litro (l)

CAPÍTULO VII

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de realizada la investigación de Bases Estabilizadas con Emulsión Asfáltica, se llega a plantear las siguientes conclusiones y recomendaciones:

7.1 CONCLUSIONES

7.1.1 CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- Los materiales empleados como bases granulares, provenientes de la Mina Rosita y la Mina Corazón, son muy comunes en nuestro medio; además, al encontrarnos en una zona volcánica, los materiales citados no cumplen con las Normas establecidas para la utilización de este tipo de materiales en aplicaciones viales.
- Al efectuar los ensayos de laboratorio, se determinaron las propiedades de los materiales de la Mina Rosita y la Mina Corazón, así, la mejor clasificación posible que se alcanzó para los agregados fue la base estabilizada con emulsión Clase B, en ambos casos, los materiales cumplieron con la mayoría de propiedades.
- En cambio, la propiedad de desgaste o abrasión de los Agregados de la Mina Corazón fue 61% y para los Agregados de la Mina Rosita fue 59%, que están sobre el permitido para estos materiales que es de 40%. La capacidad portante (CBR) no fue aceptable en ninguno de los casos; para los agregados de la Mina Corazón fue 69% y para los agregados de la Mina Rosita fue 71%; por estas cualidades los materiales son rechazados para su utilización directa, pero se los puede utilizar mediante el mejoramiento con algún método de estabilización.
- Existe una variedad de métodos de diseño para las mezclas con emulsión; pero el Método Marshall, con sus respectivas modificaciones para pavimentos en frío y mezclas con emulsión, sigue siendo el más utilizado por la facilidad del equipo y la difusión de su procedimiento; en muchos países se han introducido modificaciones; en nuestro medio lo seguimos utilizando.
- Se pudo demostrar que los materiales deficientes fueron estabilizados, siguiendo los procedimientos adecuados, descritos en el Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, y cumplieron con los valores mínimos propuestos para la utilización de estos materiales
- Los materiales estabilizados superaron en mucho los valores mínimos de diseño de 750 libras minuto, utilizando la emulsión asfáltica C_{ss} -1h para cumplir esta condición mínima y garantizando la influencia de la humedad se establece el uso de los siguientes porcentajes:
 - Para la base estabilizada con emulsión y los agregados de la Mina Corazón, el porcentaje mínimo de emulsión es de 6.2% y Agua 7.8%.
 - Para la base estabilizada con emulsión y los agregados de la Mina Rosita, el porcentaje mínimo de emulsión es de 5.3% y Agua 6.5%.

- Con los resultados obtenidos de la investigación, se ha comprobado el diseño, por encontrarse en un rango medio comprendido entre el porcentaje propuesto por el Instituto del Asfalto para este tipo de materiales que es entre 4% y 8%, estos porcentajes sugeridos también garantizan un costo-beneficio aceptable.
- La utilización de bases estabilizadas con emulsión asfáltica es una gran alternativa para la pavimentación y repavimentación de vías, y permite optimizar recursos con las siguientes ventajas:
 - Reducción de costos, comparados con otros tipos de estabilizadores y mezclas asfálticas en caliente.
 - La aplicación tiene lugar en corto tiempo.
 - Menores molestias para el tráfico vehicular.
 - Reducción del impacto ambiental, atenuando los efectos.

7.1.2 CONCLUSIONES DE LA APLICACIÓN

- El crecimiento urbano de la ciudad de Quito, obliga a que calles como la Nogales, aumenten su tráfico y superen las condiciones originales de diseño, por este motivo no es suficiente un mejoramiento vial superficial.
- Desarrollado el diseño del pavimento flexible de la calle Nogales, se estableció un número estructural de 4.22; este es un valor que indica la profundización de las capas del pavimento, tomando en cuenta que la referencia es el nivel actual del pavimento y no se puede superar el nivel de éste.
- Para la propuesta de pavimentación de la calle Nogales, se escogieron los agregados de la Mina Rosita por presentar una mayor estabilidad con un menor porcentaje de emulsión; sin embargo, los agregados de la Mina Corazón pueden llegar a valores similares de estabilidad, aunque empleando un mayor contenido de emulsión, que se refleja en un incremento del costo.
- Demostrados los beneficios de la estabilización de los materiales granulares de la Mina Rosita, con emulsión asfáltica, como los más convenientes por costo, se tomó como estabilidad aceptable de diseño 1800 libras minuto; de igual manera, se garantiza la influencia de la humedad. Para tales motivos se utiliza para el diseño un 6.9 % de emulsión y el 6% de agua.
- El costo de la base estabilizada con emulsión asfáltica se determinó en \$ 57.33/m3 incluido el transporte, una vez terminada la obra.

7.2 RECOMENDACIONES

- Construir empleando los materiales que cumplan con las propiedades expuestas en las normas, aunque en muchos lugares se realizan investigaciones basadas en la técnica de estabilización con emulsión asfáltica, por ser un procedimiento muy aceptado para el mejoramiento de agregados que son deficientes.
- Utilizar los materiales granulares de las Minas de la Mitad del Mundo y Pomasqui en las capas del pavimento, comprobándose que los diseños de estabilización superen los límites de diseño y los efectos de la humedad.
- Emplear emulsiones para estabilización como una alternativa para evitar cierta profundización mejorando el coeficiente estructural de las capas que constituyen el pavimento, en este caso para mejorar el coeficiente estructural de la base.
- Conocer los tipos y aplicaciones de las emulsiones que se encuentren en el mercado, porque cada día se están investigando nuevas formulaciones y usos que dan otras cualidades técnicas a este tipo de productos.
- Aplicar la Técnica de estabilización de materiales granulares con emulsiones para la construcción vial por etapas, la cual además permite combinar material fresado con los materiales aquí investigados.
- Usar los materiales estabilizados con emulsión asfáltica garantiza seguridad y rendimiento técnico y económico aceptable, en que será mayor mientras más cerca de la mina se encuentre la obra.

BIBLIOGRAFÍA

1. AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. American Assotiation of State Highway and Transportation Officials.
2. ASPHALT INSTITUTE. (s.f.). *Manual Serie N° 14, MS 14*. Lexington.
3. ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (1979). *A Basic Asphalt Emulsion Manual, MS N° 19*. Lexington.
4. ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001). *Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS N° 19S*. Lexington.
5. AVILA, A. (2004). *Mecánica de Suelos*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
6. BRACHO, C. L. (2005). *Cuaderno FIRP S366C Emulsiones asfálticas*. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
7. CALIDONIO MOLINA, E. D., CARRILLO CALDERÓN, S. D., & MELÉNDEZ CONTRERAS, C. B. (2010). *Tesis "Diseño De Mezcla Suelo-Agregado-Emulsión Como Alternativa Para Mejoramiento De Caminos De Bajo Volumen De Tránsito"*. El Salvador: Universidad De El Salvador, Facultad Multidisciplinaria De Occidente, Departamento De Ingeniería Y Arquitectura.
8. CAMARA DE LA CONSTRUCCION DE QUITO. (Septiembre de 2012). Revista de la Cámara de la Construcción. *Construcción*(224).
9. CARRASCO FLORES, D. O. (2004). *Estudio comparativo entre mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas con emulsiones Tibias*. Universidad de Piura, Facultade de Ingeniería, Piura.
10. CHOVA; Laboratorio de Ensayo. (2012). *Certificado de Emulsión Css - 1h*. Quito.
11. CINCIRE, V. (29 de Marzo de 2009). Estabilización de Materiales para Capas de Base. Tabasco, Tabasco, México.
12. CORREDOR, G. (2005). *Apuntes de Pavimentos* (2005 ed., Vol. Volumen 2; Mezclas Asfálticas Materiales y Diseño). Venezuela.
13. EGÜEZ, H. (Agosto 1995). *Monografía de Agregados para hormigón, n. 008*. Centro Técnico del Hormigón.

14. GONZÁLES ESCOBAR, Wilfredo; y otros. (noviembre 2007). *Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en El Salvador, Trabajo de Graduación*. Escuela de Ingeniería UES.
15. GUEVARA PALMA, M. R., MÉNDEZ DELGADO, H. A., & PIMENTEL GOMEZ, J. C. (2010). *Tesis "Diseño De Mezclas Asfálticas Densas En Frio Basado En El Metodo Marshall Modificado de Universidad de Illinois"*. El Salvador: Universidad De El Salvador, Facultad Multidisciplinaria De Occidente, Departamento De Ingeniería Y Arquitectura.
16. HARRIS, J. (2007). *Diseño de Pavimento Flexible ASSHTO*.
17. <http://www.emulsionesasfalticas.com/>. (s.f.). Obtenido de <http://www.emulsionesasfalticas.com/carpetasenfrio.htm>.
18. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. (s.f.). *ISSN 0188-7141*. México.
19. INTERPRO. (2010). *Interpro 2010, Módulo de Ofertas*. Quito, Pichicha, Ecuador.
20. ITURBIDE, J. (2002). *Manual Centro Americano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala: La secretaria de Integración Económica Centro Americana.
21. JIMÉNEZ ACUÑA, M., SIBAJA OBANDO, D., & MOLINA ZAMORA, D. (2008). *Evaluación de Factibilidad de la Aplicación de Mezclas en Frío para Superficie de Rodamiento en Costa Rica*. Unidad de Investigación (UI), San José, Costa Rica.
22. JUÁREZ BADILLO, E., & RICO RODRÍGUEZ, A. (1986). *Mecánica de suelos, tomos I*. México: Limusa.
23. MERCADO, R., BRACHO, C., & AVENDAÑO, J. (2008). *Cuaderno FIRP S365-A; Emulsiones Asfálticas, Usos- Rompimientos*. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
24. MINAYA GONZALES, S., & ORDÓÑEZ HUAMAN, A. (2001). *Manual de Laboratorio, Ensayos para Pavimentos Volumen I*. Lima.
25. MOP-001-F-2002. (2002). *Especificaciones Generales para la construcción de Caminos y puentes*.
26. MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN, JURISDICCIÓN ADMINSTRACION ZONAL

- NORTE. (1998). *El Manejo de Canteras en el Distrito Metropolitano de Quito (Anexo Ubicación)*. Quito.
27. SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES;. (s.f.). Método Marshall. En *Curso de Capacitación en Materiales de Pruebas de Laboratorio para Obras de Vias Terrestres*. México.
28. VARELA, L. R. (2000 de Octubre). Programa Cálculo del Número Estructural AASHTO 1993. Manizales, Colombia.
29. WWW.GOOGLE.COM. (2012). Google Earth V6.2.